

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA
TENSIÓN DE LA EMPRESA PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S.A. -
AMBATO .**

OREJUELA TIAGUARO MÓNICA BEATRIZ

TESIS DE GRADO .

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2009

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento es original y basado en el proceso de adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos y los resultados técnicos son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Mónica Beatriz Orejuela Tiaguaro

A G R A D E C I M I E N T O

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por haberme acogido como una estudiante más y tener ahora la satisfacción de salir de las aulas como una profesional desarrollando aspectos personales intelectuales como espirituales.

Además un sincero agradecimiento a todos quienes formaron parte principal para el desarrollo del presente trabajo.

A mi familia por su apoyo incondicional al haber respetado cada una de mis decisiones, sin el aliento de ellos mis proyectos no los hubiera cumplido a cabalidad.

A la empresa Plasticaucho Industrial de Ambato, en especial a la sección de Servicios Generales por haberme dado la oportunidad de desarrollar el trabajo, al Ingeniero Guillermo Arias, quien me ha dado el apoyo y la confianza para el cumplimiento del proyecto, al Ingeniero Danilo Balarezo y al Tecnólogo Juan Caicedo por el asesoramiento técnico-práctico en el desarrollo del trabajo, y a cada uno de los técnicos de mantenimiento de todas las áreas de producción de la empresa.

M ó n i c a B e a t r i z O r e j u e l a T i a g u a r o

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi Gabrielito Orejuela y a mi Martitha Tiaguaro, personas que para mi han significado mi vida entera, mi soporte, mis padres que con mucho cariño y paciencia me han brindado sus consejos, me han ayudado a seguir adelante en todo este largo camino y principalmente me han formado como una persona de bien para la sociedad.

Mónica Beatriz Orejuela Tiaguaro

TABLA DE CONTENIDO

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Sistema de distribución eléctrico de baja tensión	5
2.2. Códigos, normas y simbología	6
2.3. Esquemas eléctricos	7
2.3.1. Tipos de esquemas eléctricos	7
2.4. Elementos que constituyen el sistema de distribución eléctrica de baja tensión	8
2.4.1. Acometida	8
2.4.2. Equipo de medición	8
2.4.3. Transformadores	9
2.4.3.1. Partes principales del transformador trifásico de distribución	9
2.4.4. Protecciones eléctricas de distribución de baja tensión	10
2.4.4.1. Tipos de protecciones de distribución eléctrica de baja tensión	10
2.4.4.2. Beneficios de un interruptor limitador de corriente	15
2.4.4.3. Beneficios de un interruptor regulable	16
2.4.4.4. Selectividad de las protecciones	16
2.4.4.5. Técnicas de selectividad	17
2.4.5. Conductores eléctricos	18
2.4.5.1. Partes principales de los cables	19
2.4.5.2. Características de los conductores	20
2.4.6. Motores eléctricos	20
2.4.6.1. Tipos de motores eléctricos	21
2.4.7. Factor de potencia	22
2.4.7.1. Tipos de compensación	23

2.4.7.2.	Tipos de banco de condensadores...	24
2.4.8.	Tableros...	25
2.4.8.1.	Tablero de medición y protección general T.M.P.G...	26
2.4.8.2.	Subtableros de distribución interna S.T.D.I...	26
2.4.8.3.	Tableros de corrección del factor de potencia...	26
2.4.9.	Puesta a tierra de una instalación...	27
3.	SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN DE PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S.A...	28
3.1.	Situación actual de la planta industrial I “Catiglata”...	28
3.1.1.	Localización de la planta industrial I “Catiglata”...	28
3.1.2.	Tipo de instalación y trazado de la red...	29
3.1.2.1.	Red de media tensión de la planta industrial I “Catiglata”...	29
3.1.2.2.	Red de baja tensión de la planta industrial I “Catiglata”...	31
3.2.	Situación actual de la planta industrial II “Parque Industrial”...	35
3.2.1.	Localización de la planta industrial II “Parque Industrial”...	36
3.2.2.	Tipo de instalación y trazado de la red...	36
3.2.2.1.	Red de media tensión de la planta industrial II del Parque Industrial...	36
3.2.2.2.	Red de baja tensión de la planta industrial II del Parque Industrial...	38
4.	EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS APARATOS Y ELEMENTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN...	43
4.1.	Características de las cargas...	43
4.2.	División de cargas por tableros...	43
4.2.1.	Ubicación de los tableros de alimentación o terminal. (TA)...	44
4.2.2.	Ubicación del tablero de protección general. (TPG)...	44
4.2.3.	Ubicación de la subestación...	45
4.3.	Circuitos de distribución...	45
4.4.	Determinación de la demanda...	45
4.4.1.	Factor de utilización...	45
4.4.2.	Demanda de los tableros de alimentación y distribución de iluminación...	46
4.4.3.	Demanda del tablero de distribución general...	47
4.4.4.	Carga conectada o potencia instalada...	48
4.4.5.	Cálculo del factor de demanda...	49
4.5.	Cálculo de la capacidad de los transformadores...	50

4.5.1.	Selección de los transformadores...	52
4.6.	Cálculo de las protecciones eléctricas...	52
4.6.1.	Selección de los interruptores term o magnéticos...	54
4.7.	Cálculo de los conductores eléctricos...	55
4.7.1.	Calculo de elementos de consumo agrupados...	56
4.7.2.	Cálculo de la sección o calibre de los conductores eléctricos...	57
4.7.3.	Cálculo de la pérdida de tensión...	58
4.7.4.	Cálculo de la reactancia inductiva de los conductores.	59
4.7.5.	Cálculo de resistencia interna de los conductores seleccionados...	61
4.7.6.	Verificación de la pérdida de tensión en términos de porcentaje...	61
4.7.7.	Selección de los tipos de cables alimentadores...	62
4.8.	Cálculo de bancos de condensadores...	62
4.8.1.	Causas de bajo factor de potencia...	64
4.8.2.	Cálculo de protecciones para los bancos de condensadores...	65
4.8.3.	Selección de los bancos de condensadores...	66
4.9.	Cálculo de los conductores de tierra...	67
4.10.	Ejemplo de los cálculos eléctricos...	67
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ...	79
5.1.	Conclusiones...	79
5.2.	Recomendaciones...	81

Referencia bibliográfica

Bibliografía

Anexos

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1. Tensiones en instalaciones eléctricas...	5
2.2. Código UNE-EN 60617 (CEI 617)...	6
3.1. Datos técnicos de los transformadores de la “Catiglata”...	31
3.2. Datos técnicos de los transformadores del “Parque Industrial”...	39
4.1. Factor de utilización...	46
4.2. Cargas conectadas en el transformador de 1000kVA a 440V...	47
4.3. Demanda máxima en los transformadores...	48
4.4. Potencia instalada en el transformador de 1000kVA a 440V...	49
4.5. F_d de las dos plantas industriales de Plasticaucho Industrial...	50
4.6. Consumo eléctrico conectados con un voltaje de 440V...	51
4.7. Capacidades de los transformadores de Plasticaucho Industrial...	52
4.8. Protecciones eléctricas de alta y baja tensión para los transformadores de Plasticaucho Industrial...	54

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1. Partes del transformador...	9
2.2. Interruptor de caja abierta...	11
2.3. Interruptor de caja moldeada...	11
2.4. Mini interruptores...	12
2.5. Categoría A ...	13
2.6. Interruptor Categoría B ...	13
2.7. Interruptor termomagnético...	14
2.8. Selectividad de las protecciones...	16
2.9. Componentes de un cable eléctrico aislado...	19
2.10. Motores de corriente continua...	21
2.11. Principio de la compensación...	23
2.12. Tipos de compensación...	24
4.1. Triángulo de potencias...	63
4.2. Variación del factor de potencia en función de la carga del motor...	65
4.3. Disposición de los conductores eléctricos...	69

LISTA DE ANEXOS

A N E X O 1: Simbología de los elementos eléctricos.

A N E X O 2: Conductores eléctricos

A N E X O 3: Localización de la planta industrial I “Catiglata”.

A N E X O 4: Localización de la planta industrial II “Parque Industrial”

A N E X O 5: Diagrama unifilar de media tensión de la planta industrial I “Catiglata”

A N E X O 6: Diagrama unifilar de media tensión de la planta industrial II “Parque Industrial”

A N E X O 7: Resumen de las cargas de las máquinas y equipos de los transformadores de
Plasticaucho Industrial S.A.

A N E X O 8: Tabla de selección para las barras conductoras de cobre

RESUMEN

El trabajo sobre el “Análisis y Evaluación del Sistema Eléctrico de Baja Tensión de la Empresa Plasticaucho Industrial S.A. – Ambato”, se detalla por partes en los capítulos siguientes.

En la actualidad la electricidad juega un papel muy importante en el funcionamiento, el control de los equipos y el desarrollo de técnicas modernas que permiten mejorar los procesos industriales, todo ello, en función del aprovechamiento óptimo de los recursos primarios, la eficiencia energética y la armonía con el medio ambiente. Tomando en cuenta las características de las cargas de cada una de las secciones de la empresa determinamos que existen transformadores que están con sus capacidades nominales en el límite, lo que se ha recomendado es que se equitativén las cargas para evitar que los transformadores pierdan paulatinamente su actividad operativa para la que fueron creados para soportar.

Con la actualización de los diagramas unifilares se logró llevar un archivo visual de las conexiones en cada uno de los tableros y en las instalaciones de campo. Logrado de ese modo operar con índices adecuados de seguridad, calidad y economía durante todo el suministro de energía eléctrica. El incremento de máquinas que se conectan en los circuitos, razón por la cual, se debe tener en cuenta que la carga instalada que se incrementa en cada uno de los circuitos no exceda de los parámetros o características de las capacidades de cada una de las cámaras de transformación, incluyendo a su vez el estudio de cargas en los tableros eléctricos de protección general, tableros de distribución interna y tableros de alimentación de cada uno de los equipos.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES.

1.1. Introducción.

En la actualidad la electricidad juega un papel muy importante en el funcionamiento, el control de los equipos y el desarrollo de técnicas modernas que permiten mejorar los procesos industriales, todo ello, en función del aprovechamiento óptimo de los recursos primarios, la eficiencia energética y la armonía con el medio ambiente.

La electricidad recorre un largo camino desde su generación en las centrales, hasta su utilización final para alimentar todo tipo de instalaciones, el sistema eléctrico suele ser clasificado en subsistemas o sistemas secundarios.

La clasificación del sistema eléctrico se enuncia a continuación:

- Sistema de Generación.
- Sistema de Transmisión.
- Sistema de Distribución.
- Sistema de Transformación.
- Consumidor Final por Sectores (Industrial, Comercial, Residencial y Rural).

Una instalación eléctrica industrial tiene como objeto suministrar la energía eléctrica, bajo las condiciones para cada uso, en los diversos puntos de consumo que existen en las fábricas. El

riesgo eléctrico se define como la posibilidad de circulación de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano, siendo para ello necesario que el cuerpo sea conductor, que pueda formar parte del circuito y que exista una diferencia de tensiones entre dos puntos de contacto. El riesgo eléctrico puede producir daños sobre las personas (paro cardíaco, respiratorio, quemaduras, etc.) y sobre los bienes, debido al riesgo asociado de incendios y explosiones.

1.2. Antecedentes.

Plasticaucho Industrial S.A., es una empresa cuya actividad industrial se encuentra vinculada con la comercialización y fabricación de calzado, productos de caucho y polímeros de cloruro de polivinilo (eva). Su manufactura abarca cinco líneas diferentes de producción como son: compuestos termoplásticos, calzado de lona, cuero, botas de plástico y artículos de caucho eva.

Los sistemas eléctricos permanecen casi todo el tiempo en condiciones operativas normales o de estado estable y gran énfasis se despliega actualmente en el desarrollo de técnicas analíticas y en la aplicación de técnicas de supervisión y de control para minimizar los estados emergentes que pueden llevar a condiciones dinámicas, inestables o de colapsos parciales o totales.

El objetivo del sistema eléctrico es operar con índices adecuados de seguridad, calidad y economía durante todo el suministro de energía eléctrica.

Los puntos de consumo están determinados en la industria, por una gran variedad de equipos eléctricos que operan en función de un proceso determinado como: transformación,

maniobras, control, supervisión de las señales y suministro de energía. Los elementos eléctricos más comunes que forman el sistema de baja tensión son: Transformadores, seccionadores, conductores (cables y barrajes), motores eléctricos, resistores eléctricos, condensadores.

1.3. Justificación.

El propósito del proyecto es actualizar los diagramas unifilares del sistema eléctrico de baja tensión de la empresa Plasticaucho Industrial S.A., de acuerdo con las Guías de Diseño de la Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Al realizar el análisis y evaluación del sistema eléctrico de baja tensión, se puede apreciar, registrar, calcular y organizar el sistema, considerando los voltajes, corrientes, potencias, factor de potencia, conductores eléctricos, etc. Cálculos que nos permitirán determinar si el sistema eléctrico se encuentra dentro de las seguridades previstas para los equipos, evitando posibles sobreintensidades, manteniendo la disponibilidad, eficiencia, en el sistema eléctrico y en el rendimiento de las máquinas.

El objeto del desarrollo del presente proyecto, se debe a que la empresa siempre está en un continuo avance dando como resultado el incremento de máquinas que se conectan en los circuitos, razón por la cual, se debe tener en cuenta que la carga instalada que se incrementa en cada uno de los circuitos no exceda de los parámetros o características de las capacidades de cada una de las cámaras de transformación, incluyendo a su vez el estudio de cargas en los tableros eléctricos de protección general, tableros de distribución interna y tableros de alimentación de cada uno de los equipos.

Todos los equipos se encuentran debidamente protegidos por sus propios elementos de protección y conductores que alimentan y salen de los mismos. Es necesario, realizar un estudio y una evaluación del dimensionamiento adecuado de cada uno de ellos y determinar si son los más apropiados para el normal proceso y cuidado de los equipos, incluyendo la protección de la integridad humana.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Analizar y evaluar el sistema eléctrico de baja tensión de la empresa Plasticaucho Industrial S.A.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Definir las funciones de los elementos que conforman el sistema eléctrico de baja tensión de la empresa Plasticaucho Industrial S.A.
- Analizar la situación actual de las instalaciones eléctricas de baja tensión de la empresa Plasticaucho Industrial S.A.
- Evaluar y determinar los elementos eléctricos del sistema eléctrico de baja tensión de Plasticaucho Industrial S.A.
- Definir métodos técnicos para la selección de los elementos y aparatos eléctricos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Sistema de distribución eléctrico de baja tensión.

El sistema de distribución eléctrico de baja tensión está formado por los principales componentes como son: transformadores de distribución, seccionadores, disyuntores, interruptores principales y secundarios, los conductores eléctricos pueden ser cables o barrajes, tableros para el alojamiento de los diferentes elementos de protección y conducción a los consumidores finales para terminar con el proceso.

A través de la red eléctrica de baja tensión se efectúa el abastecimiento de la energía para los diferentes usos como: las industrias y los talleres, las fincas agropecuarias, las viviendas, etc.

Las líneas de alimentación que van a los consumidores partiendo de las subestaciones de conmutación y distribución de baja tensión presentan diferentes longitudes según las condiciones de los lugares. Las tensiones de las instalaciones de baja tensión se indican a continuación ^[1]:

Tabla 2.1. Tensiones en instalaciones eléctricas.

VOLTAJES		
Corriente continúa	Corriente alterna	
	Monofásica (1F)	Trifásica (3F)
110, 220, 400	120, 220, 240	120-127 entre fase y neutro.
		208-220 entre fase y neutro.
		220 entre fases.
		380 entre fases.
		500 entre fases.

Los factores que influyen para generar el efecto eléctrico son: La intensidad de la corriente eléctrica, la duración del contacto, la resistencia, la tensión aplicada, la frecuencia de la corriente, la capacidad de reacción del individuo y el recorrido de la corriente a través del cuerpo.

2.2. Códigos, normas y simbología.

Los códigos, las normas y la simbología aplicados en el presente proyecto son:

- La guía de diseño de la Empresa Eléctrica Ambato S.A, es aplicable en el diseño, construcción, ampliación, modificación, recepción, operación y mantenimiento de redes de distribución de urbanización, conjuntos residenciales, edificios, plantas industriales.
- La norma UNE-EN 60617 (CEI 617) define una serie que trata solo de símbolos gráficos para esquemas, esta serie consta de las siguientes partes (Ver Anexo II Simbología de los elementos eléctricos):

Tabla 2.2. Código UNE-EN 60617 (CEI 617)

UNE-EN 60617-2	Elementos de símbolos, símbolos distintivos y otros símbolos de aplicación general.
UNE-EN 60617-3	Conductores y dispositivos de conexión.
UNE-EN 60617-4	Componentes pasivos básicos.
UNE-EN 60617-5	Semiconductores y tubos electrónicos.
UNE-EN 60617-6	Producción transformación y conversión de la energía eléctrica.
UNE-EN 60617-7	Aparamenta y dispositivos de control y protección.
UNE-EN 60617-8	Instrumentos de medida, lámparas y dispositivos de señalización.
UNE-EN 60617-9	Telecomunicaciones: Conmutación y equipos periféricos.
UNE-EN 60617-10	Telecomunicaciones: Transmisión
UNE-EN 60617-11	Esquemas y planos de instalación, arquitectónicos y topográficos.
UNE-EN 60617-12	Operadores lógicos binarios.
UNE-EN 60617-13	Operadores analógicos.

2.3. Esquemas Eléctricos.

El esquema eléctrico es la forma más sencilla de exponer una instalación, sea cual sea el grado de complejidad, tiene mucha importancia tanto teórica como práctica.

Cuando en una instalación se produce una avería conviene estudiar su esquema representativo, para determinar el lugar de la avería.

2.3.1. Tipos de esquemas eléctricos.

Los esquemas eléctricos se clasifican en: Esquema general de conexiones, unifilar o simplificado, funcional o desarrollado, y de emplazamiento o plano de la instalación.

Esquema general de conexiones: Es una representación gráfica de todos los elementos y conexiones de una instalación eléctrica, situando los elementos en posición que ocupa en el montaje real.

Esquema unifilar o simplificación: Este tipo de esquemas utiliza símbolos adecuados; no se representan todos los hilos y conexiones que intervienen en una instalación, solamente las necesarias para la comprensión del esquema, simplificando la representación de conductores.

Esquema funcional o desarrollado: Este esquema por su sencillez nos da una idea clara del funcionamiento. Los diversos elementos constituyentes de la instalación están representados por símbolos y se observan las uniones de los elementos con los conductores.

Esquema de emplazamiento o plano de la instalación: Este esquema se representa sin detalle, el plano de un local o vivienda, con los emplazamientos aproximados de los aparatos o elementos que intervienen en las instalaciones eléctricas de iluminación, fuerza y circuitos especiales.

2.4. Elementos que constituyen el sistema de distribución eléctrica de baja tensión.

2.4.1. Acometida.

Se define así a los conductores que se extienden desde la red de distribución eléctrica hasta el medio general de desconexión de la instalación. La acometida es la parte de la instalación de la red de distribución que alimenta la caja o cajas generales de protección o unidad funcional equivalente. La acometida será responsabilidad de la empresa suministradora, que asumirá la inspección y verificación final. La acometida se compone de: la caja general de protección, línea general de alimentación, elementos para la ubicación de contadores, derivación individual, caja para interruptor de control de potencia y dispositivos generales de mando y protección.

2.4.2. Equipo de medición.

La medición de energía eléctrica que se efectúa mediante medidores o contadores, resulta de interés para calcular la cantidad de energía que la compañía suministradora debe facturar a los consumidores. También se utiliza para conocer la cantidad de energía a través de las redes de distribución que no son traducidas precisamente en trabajo útil o electromecánico por falta de compensación de cargas reactivas.

2.4.3. Transformadores.

Los transformadores son máquinas usadas para reducir o incrementar voltajes a sus niveles óptimos de utilización. Son unidades estáticas presenta un proceso estático en su interior del tipo térmico eléctrico.

Los parámetros más importantes para la evaluación del transformador son: La potencia nominal, la relación de transformación ($V_{\text{primario}}/V_{\text{secundario}}$), la puesta a tierra del neutro del sistema.

2.4.3.1. Partes principales del transformador trifásico de distribución [4].

Las partes principales del transformador trifásico de distribución son las siguientes:

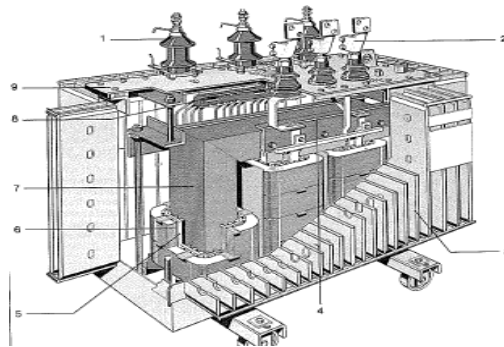


Figura 2.1. Partes del transformador.

1. Terminales de alta tensión.
2. Terminales de baja tensión.
3. Caldera de aletas plegadas (llena de líquido).
4. Armazón fundido a presión.
5. Bobinado de baja de bandas de aluminio.
6. Bobinas de alta separadas, de aluminio.

7. Núcleo de tres columnas.

8. Inversor.

9. Cubierta de la caldera.

2.4.4. Protecciones eléctricas de distribución de baja tensión.

Se conoce con el nombre de componentes de potencia de los sistemas de control y protección de líneas de baja tensión mediante los interruptores automáticos.

Los interruptores o interruptores [5]: Son dispositivos de interrupción automático de corriente y su función principal es la de proteger un circuito eléctrico de sobrecorrientes. Una sobrecarga puede producir un cortocircuito.

Sobrecarga [6]: El funcionamiento de un equipo por encima de sus parámetros normales a plena carga o de un conductor por encima de su capacidad de corriente nominal que, si persiste durante un tiempo suficiente, podría causar daños o un calentamiento peligroso.

Sobrecorriente: Es una corriente por encima de la corriente nominal de un equipo o de la capacidad de corriente de un conductor. Puede ser el resultado de una sobrecarga, un cortocircuito o una falla a tierra.

2.4.4.1. Tipos de protecciones de distribución eléctrica de baja tensión.

1. Tipos de interruptores por su empleo o disposición eléctrica.

a. Caja abierta: Usados para protección de cabecera o principal, protección directa de cargas de alta potencia, transferencia de redes, etc.

Especificaciones técnicas: Sus contactos de fuerza pueden ser abiertos para revisión y mantenimiento, el rango de operación está entre los 630A a los 6300A en sistemas de baja tensión.

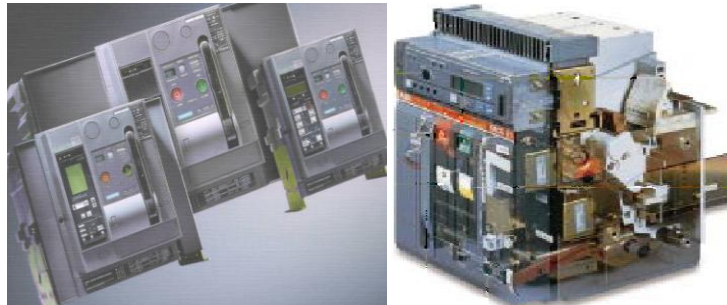


Figura 2.2. Interruptor de caja abierta

b. Caja moldeada: Protección principal contra sobre corrientes en sistemas de distribución, subdistribución, cargas finales.

Especificaciones técnicas: Sus contactos de fuerza están encapsulados en una caja preformada y sellada, el rango de operación es desde los 16A a los 3200A en sistemas de baja tensión. Aptitud al seccionamiento (seguridad industrial), resistencia a las vibraciones, diferentes posiciones de instalación.



Figura 2.3. Interruptor de caja moldeada

Capacidades de interrupción (I_{cu}) sugeridas para interruptores tripolares de caja moldeada.

Para $V = 220 \text{ V A C}$		Para $V = 460 \text{ V A C}$	
Hasta 50 A	→ 20 kA	Hasta 50 A	→ 8 kA
De 50 A a 160 A	→ 25 kA	De 50 A a 160 A	→ 10 kA
De 160 A a 630 A	→ 35 kA	De 160 A a 630 A	→ 20 kA
Mayores a 630 A		→ Realizar estudio de cortocircuito.	

Nota: Los valores anteriores deben ser considerados cuando el interruptor esté ubicado a una distancia superior a los 30m de recorrido de conductor al transformador principal, es decir, donde se manejen I_{cc} medianas.

En todos los casos la I_{cs} deberá ser mayor o igual al 75% I_{cu} .

c. Mini Interruptores: Protección contra sobrecorrientes en ramales, sistemas de subdistribución o cargas finales.

Especificaciones técnicas: Interruptor termomagnético rápido apto para adaptar en riel DIN, se encuentran desde los 0.5 A hasta los 125 A en sistemas de baja tensión.



Figura 2.4. Mini interruptores

2. Tipos de interruptores por su categoría de empleo.

Categoría A: Corresponden a interruptores de caja moldeada de baja y mediana capacidad.

Especificaciones técnicas: interruptores sin retardo a la desconexión, su disparo debe ser inmediato.



Figura 2.5. Categoría A

- **Categoría B.**

Especificaciones técnicas: es el más robusto y resistente por ser el principal, con retardo a la desconexión, corresponden a interruptores de caja abierta y interruptores de caja moldeada de alta capacidad, debe ser el último en abrir por requerimientos de selectividad y coordinación de protecciones.



Figura 2.6. Interruptor Categoría B

3. Tipos de interruptores por su unidad de disparo.

a. Termomagnético.

Especificaciones técnicas: Protege contra sobrecargas (protección térmica), protege contra cortocircuitos, disparando un dispositivo magnético para producir un disparo ultrarrápido (protección magnética), es sensible a la temperatura ambiente y puede ser sujeto a desclasificación si excede la temperatura nominal de trabajo.



Figura 2.7. Interruptor term om agnético

b. Electrónico.

Especificaciones técnicas: Protege contra sobrecargas y cortocircuitos sensando únicamente unidades de corriente de forma electrónica, es insensible a la temperatura ambiente, ofrece mayor precisión en ajustes térmico y magnético (desde el $0.4 \times I_n$ hasta 10 veces la I_n).

4. Tipos de interruptores por su cargabilidad (accionamiento) de disparo térmico.

a. 80 % Cargable: Este interruptor empieza a disparar al estar cargado al 80 % o más de su I_n luego de tres horas de servicio.

b. 100 % Cargable: Este interruptor SOLO empieza a disparar después del 100 % de su I_n permanente.

5. Tipos de interruptores por su tecnología de fabricación.

a. Rápidos (viejos).

Especificaciones técnicas: Son muy grandes y de tecnología antigua, están diseñados para soportar toda la corriente presunta de cortocircuito.

b. Limitadores de corriente.

Especificaciones técnicas: Son compactos y con tecnología de punta, solo dejan pasar un pequeño porcentaje de la corriente de cortocircuito, por tanto **ahorran energía** durante un cortocircuito, permiten tableros y barras más pequeños, en lo cual se puede realizar un mantenimiento predictivo.

2.4.4.2. Beneficios de un interruptor limitador de corriente.

Alarga la vida útil de los conductores: Al dejar pasar menos corriente, deja pasar menos energía térmica por lo tanto barras, cables y conductores sufren menos en su material aislante.

Disminuye los esfuerzos electromecánicos dinámicos: Disminuye la posibilidad de deformación de las barras durante un cortocircuito.

Se disminuyen los efectos electromagnéticos: Reduciéndose la interferencia electromagnética que pudiera afectar a equipos sensibles como PLC's, variadores, equipos de radiocomunicación, panel de operador u otros equipos electrónicos.

2.4.4.3. Beneficios de un interruptor regulable.

- a. Previenen el uso de “reserva futura de carga” con la regulación térmica, evitando tener que comprar otro interruptor cuando aumentamos la carga.
- b. Hacen más precisa la protección frente a sobrecargas y cortocircuitos (selectividad).

2.4.4.4. Selectividad de las protecciones.

Es la acción de proteger un sistema eléctrico, cuando se presenta la falla, sólo el dispositivo de protección más directo deberá accionar, minimizando así la salida del servicio eléctrico.

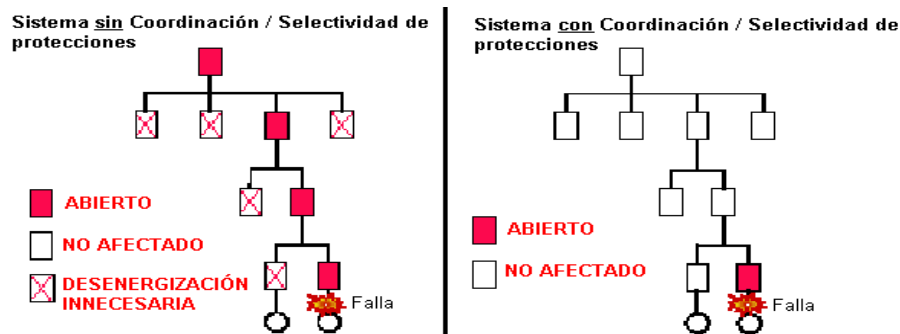


Figura 2.8. Selectividad de las protecciones

La selectividad es parcial si la condición frontal solo se cumple para un valor de intensidad de cortocircuito inferior a la intensidad de cortocircuito máxima. A este valor se le llama límite de selectividad.

La selectividad de las protecciones es un elemento esencial que debe ser tomado en consideración desde el momento de la concepción de una instalación de baja tensión, con el fin de garantizar a los utilizadores la mejor disponibilidad de la energía.

La selectividad es importante en las instalaciones para el confort de los usuarios pero sólo se encuentra en las instalaciones que alimentan los procesos industriales de fabricación. Es así como una instalación no selectiva está expuesta a riesgos de diversa gravedad tales como: Imperativos de producción no respetados, roturas de fabricación con: Pérdida de producción o de producto terminado, riesgo de avería en las herramientas de producción dentro de procesos continuos, paro de motores de seguridad.

2.4.4.5. Técnicas de selectividad.

- **Selectividad amperimétrica (protección contra sobrecargas)**

Es el resultado de la separación entre los umbrales de los relés instantáneos (o de corto retardo) los interruptores automáticos sucesivos. Es decir que se actúa sobre el valor de las corrientes de disparo I_m .

La zona de selectividad es tanto más importante cuando mayor es la separación entre los umbrales de los relés instantáneos y cuando mayor sea la distancia entre el punto de defecto y el valor de disparo.

La protección es selectiva si la relación entre los umbrales de regulación es superior a 1.6 (en el caso de dos interruptores automáticos de distribución).

- **Selectividad cronométrica (Protección contra cortocircuitos débiles).**

Para garantizar que una selectividad sea total las curvas de disparo de los interruptores automáticos deben suponerse en ningún punto, cualquiera que sea el valor de la corriente presunta de cortocircuito.

Esta selectividad se obtiene por el escalonamiento de los tiempos de funcionamiento de los interruptores automáticos con relés de disparo de corto retardo.

Así que se le impone al disyuntor una resistencia electrodinámica compatible con la corriente de corta duración admisible, que debe ser la temporización del corto retardo.

El disparo del aparato de aguas arriba está ligeramente temporizado: el aparato aguas abajo es más rápido.

La protección es selectiva si la relación entre los umbrales de protección contra los cortocircuitos es superior o igual a 1.5.

- **Selectividad energética (Protección contra cortocircuitos elevados)**

Este principio combina el poder de limitación excepcional de los interruptores automáticos y el accionamiento reflejo, sensible a la energía disipada por el cortocircuito en el aparato.

Cuando un cortocircuito es elevado, si es visto por dos aparatos, el aparato de aguas abajo lo limita muy frecuentemente. La energía disipada en el aparato de aguas arriba es insuficiente para provocar su disparo: hay selectividad sea cual sea el valor del cortocircuito.

La protección es selectiva si la relación entre los calibres de los interruptores automáticos es superior a 2.

2.4.5. Conductores eléctricos.

Los conductores empleados en las instalaciones eléctricas deben ser apropiados en calidad, material y forma, a la clase de instalación a que van a ser destinados.

La forma de presentarse en el mercado será diversa no sólo en cuanto a su constitución, sino también al aislamiento que lleva.

2.4.5.1. Partes principales de los cables eléctricos.

Los principales componentes de un cable eléctrico aislado en baja tensión son:

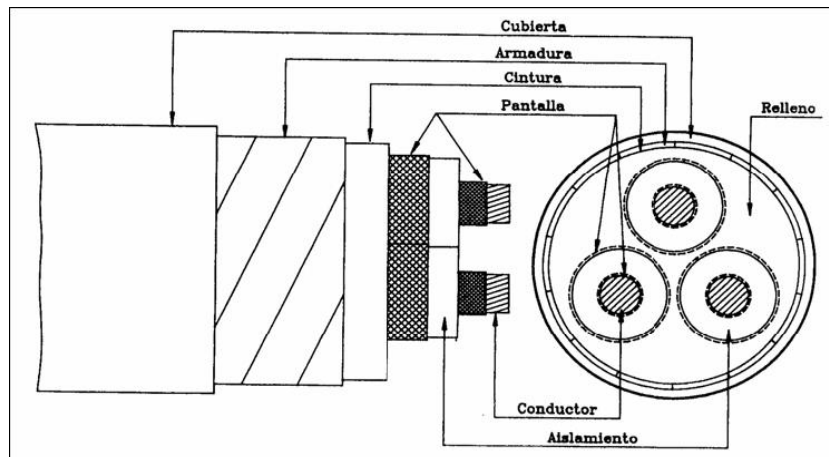


Figura 2.9. Componentes de un cable eléctrico aislado

- **Conductor:** Es el elemento metálico que cumple la función de conducir la corriente. Normalmente es de cobre recocido o aluminio. Puede ser un hilo, o un conjunto de hilos.
- **Aislamiento:** Es la envoltura aislante aplicada sobre el conductor. Se fabrican con materiales plásticos o derivados del caucho.
- **Alma:** Es el conjunto formado por el conductor y el aislamiento.
- **Cable:** Es el conjunto formado por una o varias almas reunidas junto con el material de relleno, la cintura y la cubierta. Los cables formados por un alma son unipolares, dos son bipolares, tres son tripolares, cuatro son tetrapolares y más de cuatro almas son multipolares.

- **Cintura:** Es la envoltura aislante común, en cables multipolares, aplicadas sobre las almas reunidas y de la misma naturaleza que el aislamiento.

- **Relleno:** Material aislante que rellenan los huecos entre la cintura y las almas.

- **Pantalla:** Capa de material conductor o semiconductor, dispuesta sobre la superficie externa e interna del aislamiento o sobre una de ellas.

Esta pantalla debe estar debidamente conectada a tierra y se utiliza en cables de alta tensión para distribuir en forma equilibrada el campo eléctrico creado por el conductor sobre los aislamientos.

- **Armadura:** Recubrimiento metálico para protección mecánica del cable. Se utilizan flejes de acero, alambres de acero galvanizado o platinas de acero galvanizado.

- **Cubierta:** Envoltura tiene una función esencialmente de protección mecánica, química, etc.

2.4.5.2. Características de los conductores.

Los cables de uso general ya sean desnudos, aislados con compuestos termoplásticos como el cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE) o elastómeros termoplásticos (TPE) y los aislados con compuestos termoestables como el polietileno reticulado XLPE y el nylon (N).
[7] (Ver Anexo 2 Conductores Eléctricos).

2.4.6. Motores eléctricos.

Se llama motor eléctrico al dispositivo capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, produce movimiento al convertir en trabajo la energía eléctrica que viene de la red.

Un motor está constituido de dos partes, una fija denominada estator, y otra móvil respecto a esta última denominada rotor. Ambas están fabricadas en material ferromagnético, y disponen de una serie de ranuras en las que se alojan los hilos conductores de cobre que forman el devanado eléctrico. En todo motor eléctrico existen dos tipos de devanados: el inductor, que origina el campo magnético para inducir las tensiones correspondientes en el segundo devanado, que se denomina inducido, puesto que en él aparecen las corrientes eléctricas que producen el par de funcionamiento deseado (torque).

2.4.6.1. Tipos de motores eléctricos.

Los motores eléctricos se clasifican en dos grandes grupos según el tipo de corriente que necesita el inducido para su funcionamiento: Corriente continua y corriente alterna.

1. Corriente Continua: Este tipo de motor se clasifica de acuerdo al sistema de excitación en:

- Independiente.
- Paralelo (Derivación).
- Serie
- Compuesto (combinación serie / paralelo).

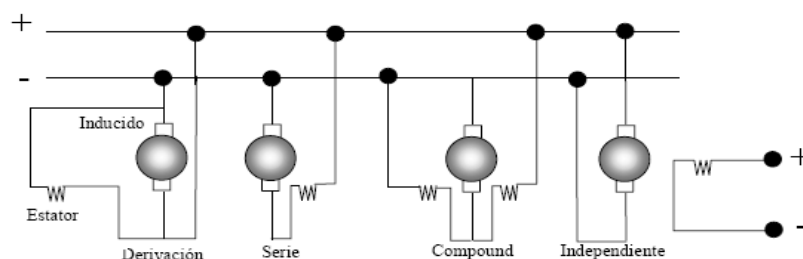


Figura 2.10. Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua se distinguen del resto de los motores eléctricos por su gran facilidad para la regulación de velocidad. Por tal motivo, son esenciales para todas aquellas

las aplicaciones como: Grandes variaciones de velocidad, cambios o inversiones rápidas en la marcha, control automático de pares y velocidad. Y son ampliamente utilizados en industrias: Papeleras, textileras, químicas, alimenticias, siderúrgicas, metalúrgicas.

2. Corriente Alterna: Como su nombre lo indica, estos motores funcionan con corriente alterna, y se dividen en dos grandes grupos:

- Asíncronos (inducción) y
- Síncronos o (sincrónicos).

2.4.7. Factor de potencia.

Los transformadores, motores, etc. son consumidores inductivos. Para la formación de su campo magnético estos toman potencia inductiva o reactiva de la red de alimentación, Esto significa para las plantas generadores de energía eléctrica una carga especial, que aumenta cuanto más grande es y cuanto mayor es el de fase. Esta es la causa por la cual se pide a los consumidores o usuarios mantener una factor de potencia **cercano** a **1**. La demanda de potencia reactiva se puede reducir sencillamente colocando condensadores en paralelo a los consumidores de potencia inductiva Q_L .

Dependiendo de la potencia reactiva capacitiva Q_c de los condensadores se anula total o parcialmente la potencia reactiva inductiva tomada de la red. A este proceso se le denomina compensación. Después de una compensación la red suministra solamente (casi) potencia real.

La corriente en los conductores se reduce, por lo que se reducen las pérdidas en éstos. Así se ahorran los costos por consumo de potencia reactiva facturada por las centrales eléctricas.

Con la compensación se reducen la potencia reactiva y la intensidad de la corriente, quedando la potencia real constante, es decir, se mejora el factor de potencia.

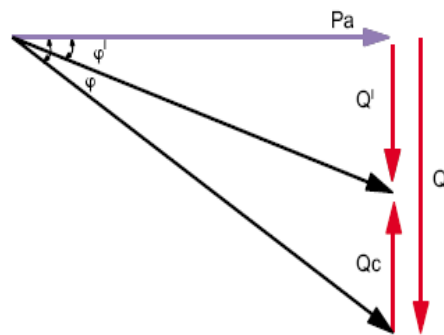


Figura 2.11. Principio de la compensación.

2.4.7.1. Tipos de compensación.

Las inductividades se compensan con la conexión en paralelo de capacitancias, conocida como compensación en paralelo. Esta forma de compensación es la más usual, especialmente en sistemas trifásicos. Los tres tipos de compensación en paralelo más usados son:

a. Compensación Individual: A cada consumidor inductivo se le asigna el condensador necesario. Este tipo es empleado ante todo para compensar consumidores grandes de trabajo continuo.

b. Compensación en Grupos: Los grupos se conforman de varios consumidores de igual potencia e igual tiempo de trabajo y se compensan por medio un condensador común. Este

tipo de compensación es empleado, por ejemplo para compensar un grupo de lámparas fluorescentes.

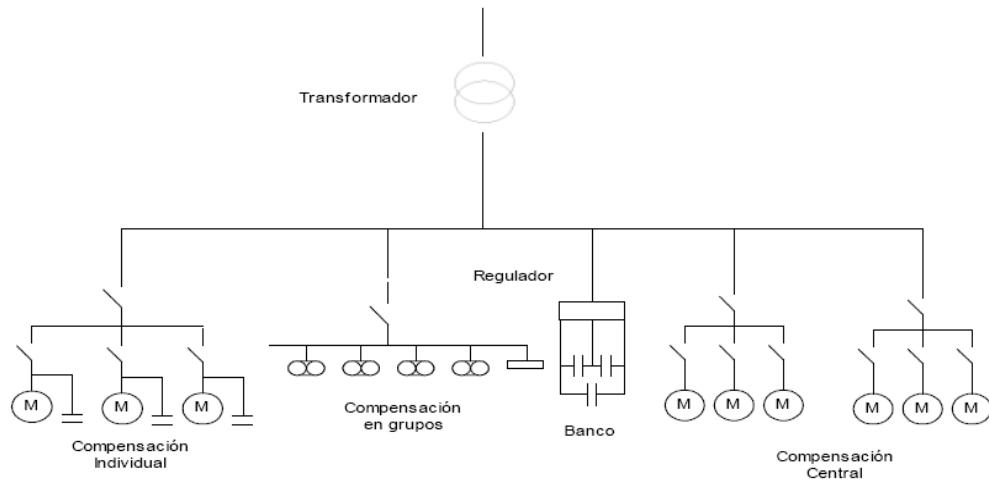


Figura 2.12. Tipos de compensación

c. Compensación Central: La potencia reactiva inductiva de varios consumidores de diferentes potencias y diferentes tiempos de trabajo es compensada por medio de un banco de compensadores. Una regulación automática compensa según las exigencias del momento.

2.4.7.2. Tipos de banco de condensadores.

Los condensadores pueden acoplarse al sistema de las tres formas que están indicadas como fijos, automáticos y semiautomáticos.

La batería automática: Es la que consta de modo particular de un relé regulador de potencia reactiva o varmétrico el cual controla de forma automática las entradas y las salidas de las diferentes etapas o escalones que conforman una batería de condensadores, según lo requiera la carga. Esta forma de aplicación permite mantener siempre el factor de potencia en un valor

deseado he indicado por el regulador varmétrico. Regularmente este tipo de baterías se utilizan en los centros generales de distribución en baja tensión. También se hacen necesarios cuando en un sistema determinado hay grandes salidas de cargas, lo que pudiera dar lugar a que en un momento determinado se quede conectado al sistema una cantidad importante de KVAR lo cual podría causar elevaciones peligrosas del voltaje.

Por eso como regla general, si la capacidad de la batería de condensadores es superior al 15% de la potencia nominal de los transformadores en KVA, es necesario poner un sistema automático.

La batería semiautomática: Es un sistema de instalación y operación en la cual las diferentes etapas en las que se divide el total de los KVAR no son maniobradas automáticamente por un relé varmétrico, sino por señales de control procedentes de cargas significativas del sistema los cuales por lo general son los motores.

Es necesario también para poder emplear eficazmente la compensación semiautomática que la mayor parte de las cargas este dada por las cargas significativas porque si esto no se cumpliera y sea más bien la suma de receptores pequeños los que hagan la mayoría, los cuales muchas veces trabajan sin ninguna secuencia o dependencia de los demás, pudiera ocurrir que si uno de estos deja de trabajar por diversos motivos, entonces una o varias de las etapas de la batería también saldrían de operación.

2.4.8. Tableros.

Los tableros son unos gabinetes metálicos donde se colocan instrumentos, interruptores, arrancadores y/o dispositivos de control.

El tablero es el elemento auxiliar para lograr una instalación segura, confiable y ordenada sobre todo.

2.4.8.1. Tablero de medición y protección general T.M.P.G.

El tablero de medición y protección general es aquel que se coloca inmediatamente después del transformador de voltaje, destinados a almacenar en su interior el sistema de medición, las protecciones generales o principales y además de las diferentes barras para la distribución de la energía eléctrica.

El secundario del transformador se conecta a la entrada del interruptor y a la salida de éste se conectan barras de distribución a los diferentes circuitos a través de los interruptores derivados.

2.4.8.2. Subtableros de distribución interna S.T.D.I.

Las áreas de una instalación están normalmente alimentadas por uno o varios tableros derivados denominados subtableros de distribución interna S.T.D.I. Estos tableros derivados llevan un interruptor principal y los diferentes interruptores de seccionamiento dependiendo de la distancia al tablero de donde se alimenta y el número de circuitos que alimenten, contiene las diferentes barras de cobre.

Estos tableros de alimentación van directo a las máquinas y a las unidades de alumbrado, salidas de contactos para equipos especiales.

2.4.8.3. Tableros de corrección del factor de potencia.

En el sistema eléctrico industrial se requiere de un banco de corrección del factor de potencia y es así como se ve en la necesidad de proteger los elementos con un tablero en el que irán provistos el interruptor principal o general de protección del banco de condensadores, las barras de distribución para sus diferentes circuitos de condensadores.

2.4.9. Puesta a tierra de una instalación [8].

Las puestas a tierra se establecen principalmente con objeto de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados. Llamaremos “tierra” a todas las partes o estructuras conductoras no accesibles o enterradas. Aunque esta definición no está extraída de un reglamento o norma, nos permitirá identificar mejor la tierra y las masas de una instalación.

Definición de las puestas a tierra según la ITC-BT-18.

La puesta o conexión a tierra es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo. Mediante la instalación de puesta a tierra se deberá conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o las de descarga de origen atmosférico.

El suelo de nuestro planeta que se utiliza como referencia convencional, de potencial “0 voltios”, en determinadas aplicaciones eléctricas y cuya conductibilidad eléctrica es muy variable, conduce (o la utiliza el hombre para conducir) determinadas corrientes eléctricas.

La conexión a la toma de tierra de los elementos conductores de un edificio o instalaciones industriales y de las masas de las cargas, contribuyen a evitar la presencia de toda la tensión peligrosa entre las partes simultáneamente accesibles.

CAPÍTULO III

3. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN DE PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S.A.

PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S. A., está formada por dos plantas industriales: La planta industrial I “Catiglata” y la planta industrial II “Parque Industrial”, la información de las instalaciones eléctricas de las dos plantas industriales existentes son de años anteriores, razón por lo cual se procederá a realizar un levantamiento para la actualización de las instalaciones eléctricas para el respectivo análisis y evaluación.

Para determinar el análisis eléctrico se ha realizado un estudio minucioso de cada una de las potencias de los equipos instalados en la fábrica que en su mayoría son motores eléctricos de inducción trifásicos, acoplados a sus sistemas elementos de calefacción y enfriamiento.

La ubicación, el área de construcción, la carga instalada, demanda máxima, las protecciones eléctricas, los conductores eléctricos se determinarán de acuerdo al análisis realizado en las dos plantas industriales.

3.1. Situación actual de la planta industrial I “Catiglata”.

El análisis de la situación actual de la planta industrial I, se toma los aspectos de la ubicación, el área de construcción, su situación eléctrica actual.

3.1.1. Localización de la planta industrial I “Catiglata”.

La planta industrial I, está ubicada en el sector de “Catiglata”, en la Panamericana Norte Km . 2 ½ de la Avenida Indoamérica de la ciudad de Ambato.

La industria cuenta con un área construcción de aproximadamente 22,053m². La planta industrial I, está formada por diferentes áreas: producción, mantenimiento y administración.

El área de producción está formada por: Calzado Lona, Caucho - Eva y Montaje - Cuero.

El área de mantenimiento, está formado por el taller mecánico y servicio de mantenimiento en cada una de las secciones.

El área de administración, está formado por las oficinas de planta y oficinas administrativas de matriz. Ver ANEXO 3 Localización de la planta industrial I “Catiglata”.

3.1.2. Tipo de instalación y trazado de la red.

3.1.1.

3.1.2.1. Red de media tensión de la planta industrial I “Catiglata”.

3.2.

La alimentación de energía para la red de media tensión de “Catiglata” es suministrada por la subestación de la Península, perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato S.A.

De la subestación de la Península, llega la energía por una red aérea de media tensión de 13.8kV, misma que pasa por unos seccionadores de barra trifásica, se conecta por medio de un poste a un seccionador portafusible trifásico y se dirige para el consumo eléctrico de otros usuarios. Ver ANEXO 5 Diagrama unifilar de media tensión de “Catiglata”.

La alimentación de media tensión para Plásticaucho pasa por unos pararrayos de óxido de zinc, con una tensión máxima de servicio de 13.3kV, con una clase de 10kV con su debida

protección formada por una varilla de cooperweld de 16 mm de diámetro y 1.8m de longitud, instalados exclusivamente para atender a Plasticaucho.

La alimentación continúa hasta unos seccionadores de barra de tensión eléctrica máxima de diseño 15kV A, para una capacidad de 200A, hasta llegar a los bushing del lado primario del transformador integral de medición, de tres bobinados de corriente de clase 0.2, burden de 15kV A con una relación 200/5A. BIL 95 kV tres bobinados de tensión, clase 0.2, burden 500V A, con una relación de 13200V/3V.

La alimentación continúa desde la salida de los bushing del transformador integral de medición hacia unos seccionadores trifásicos con cámara de extinción de arco. Es ahí donde la corriente se divide para la conexión de media tensión que se dirige a la cámara de transformación I y a la cámara de transformación II.

Tramo de media tensión para la alimentación de la cámara de transformación I: La conexión de la salida del seccionador portafusible con cámara de extinción de arco se dirige hacia un seccionador portafusible con una tensión máxima de diseño de 15kV, para una capacidad de 200A con tirafusibles para alta tensión de 140A.

La alimentación continúa por unos pararrayos de óxido de zinc con una tensión de servicio de 13.3kV de clase 10kV, pasa por unos seccionadores de tensión máxima de diseño de 15kV, con una capacidad de 200A con tirafusibles para alta tensión de 140A, con una punta terminal para ser utilizado con cable de cobre aislado para 15kV calibre N° 2AWG de uso exterior.

Tramo de media tensión para la alimentación de la cámara de transformación II: De la derivación de la salida del seccionador portafusible con cámara de extinción de arco, llega a unos pararrayos de oxido de zinc con una tensión de servicio de 13.3kV de clase 10kV.

La alimentación continúa por unos seccionadores portafusibles de tensión máxima de diseño de 15kV con una capacidad de 100A con tirafusibles para alta tensión de 100A. Se indica la conexión a una punta terminal adecuado para ser utilizado con cable de cobre aislado para 15kV de calibre N° 2AWG de uso exterior.

3.1.2.2. Red de baja tensión de la planta industrial I “Catiglata”.

3.3.Demanda de la planta industrial I “Catiglata”. La planta industrial I “Catiglata”, dispone de una potencia instalada aproximadamente de 6.33MVA y una demanda máxima aproximada de 3.74MVA. En la siguiente tabla de resumen, se indican los datos técnicos de

						Primario		Secundario	
#	# C.T.	Denominación	Tipo	Fase	P _n kVA	V	A	V	A
1	CT01	Caucho-Eva	DY5	3	1000	13800	41,84	220	2624,32
2	CT01	Servicios Generales	DY5	3	200	13800	8,37	220	524,86
3	CT01	Mezclas Caucho -Eva	DY5	3	1000	13800	41,84	440	1312,16
4	CT01	Mezclas Caucho	Yy0	3	1000	13800	41,84	220	2624,32

los transformadores.

5	CT02	Calzado Lona	DY 5	3	1000	13800	41,84	220	2624,32
6	CT02	Calzado Lona	DY 5	3	160	13800	6,69	440	209,95

3.4.Tabla 3.1. Datos técnicos de los transformadores de la planta industrial I

“Catigлата”.

Tramo de baja tensión para la alimentación de la cámara de transformación I: La potencia instalada en la cámara de transformación I, es de aproximadamente 4.59MVA y la demanda máxima es de aproximadamente 2.77MVA. La alimentación para la cámara de transformación I, viene desde la conexión interior de una punta terminal, adecuado para ser utilizado con cable de cobre aislado para 15kV calibre N° 2AWG.

El circuito de alimentación para la cámara de transformación I se divide en dos tramos:

Primer tramo de la derivación de la cámara de transformación I:

1.- Llega la alimentación de energía a un seccionador tripolar con accionamiento bajo carga con fusibles adosados con una capacidad de 100A.

Alimenta a un transformador de distribución, trifásico, de 1000kVA, con una relación de transformación de 13800V a 220V.

Elementos de protección y conducción del transformador de 1000 kVA a 220V: Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de dos barras conductoras de cobre por fase de 1000mm^2 con una capacidad de hasta 2850A y una barra de cobre de 600mm^2 para el neutro, alimentando un interruptor regulable de 1280A a 3200A que se encuentra en el tablero de protección general.

Tablero de protección general del transformador de 1000 kVA a 220V: En el tablero de protección general se conectan las cargas principales del circuito, es así que de la salida del interruptor alimenta con dos barras conductoras de cobre por fase de 1000mm^2 con una capacidad de 2850A, que se conectan a los respectivos interruptores fijos y regulables derivados que alimentaran de energía a cada uno de los subtableros de distribución interna, y estos a la vez a los tableros de alimentación de acuerdo a la capacidad de los elementos consumidores de energía.

2.- De la alimentación del seccionador tripolar con accionamiento bajo carga con fusibles adosados de 100A, se dirige a un seccionador tripolar con accionamiento bajo carga con fusibles adosados de 16A de capacidad.

Alimenta a un transformador de distribución, trifásico, de 200kVA, con una relación de transformación de 13800V a 220V.

Elementos de protección y conducción del transformador de 200 kVA a 220V: Del lado de baja tensión del transformador continúa la alimentación por medio de tres cables por fase 4/0 tipo XLP con una capacidad de 840A y dos cables 4/0 tipo XLP para el neutro, alimenta a un interruptor fijo de 630A que se encuentra en el tablero de protección general.

Tablero de protección general del transformador de 200 kVA a 220V: En el tablero de protección general se conectan las cargas principales del circuito, es así que de la salida del interruptor alimenta con tres cables de calibre 4/0, tipo XLP por fase, que se conectan a los respectivos interruptores fijos y regulables derivados que alimentarán de energía a cada uno de los subtableros de distribución interna, y estos a la vez a los tableros de alimentación de acuerdo a la capacidad de los elementos consumidores de energía.

Segundo tramo de la derivación de la cámara de transformación I:

1.- La alimentación llega a un seccionador portafusible con una capacidad de 80 A.

Alimenta a un transformador de distribución, trifásico, de 1000 kVA, con una relación de transformación de 13800 V a 440 V.

Elementos de protección y conducción del transformador de 1000 kVA a 440 V: Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de cuatro cables por fase de 400 mcm tipo THHN con una capacidad de 1520 A y dos conductores de cobre desnudo 2/0 para el neutro, alimentando un interruptor regulable de 500 A a 1250 A que se encuentra en el tablero de protección general.

Tablero de protección general del transformador de 1000 kVA a 440 V: En el tablero de protección general se conectan las cargas principales del circuito, es así que de la salida del interruptor alimenta a dos barras conductoras de cobre con sección de 400 mm^2 con una capacidad de 1470 A, la energía se divide a cada uno de los tableros de distribución interna y a los tableros de alimentación para llegar a su entrega final en los diferentes equipos consumidores.

Tramo de baja tensión para la alimentación de la cámara de transformación II: La potencia instalada en la cámara de transformación II es de aproximadamente 1.74 MVA y la demanda máxima es de aproximadamente 0.97 MVA.

La alimentación para la cámara de transformación II, llega a un seccionador tripolar con accionamiento bajo carga con fusibles adosados de 80 A de capacidad. El circuito de alimentación para la cámara de transformación II se divide en dos tramos:

Primer tramo de la derivación de la cámara de transformación II:

1.- La alimentación llega a un seccionador portafusible de capacidad de 100A.

Alimentando a un transformador de distribución, trifásico, de 1000kVA, con una relación de transformación de 13800V a 220V.

Elementos de protección y conducción del transformador de 1000 kVA a 220V: Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de dos barras conductoras de cobre de 1000mm^2 por fase con una capacidad de hasta 2850A y una barra conductora de cobre de 600mm^2 para el neutro, dejando pasar corriente a un interruptor regulable de 1280A a 3200A, que se encuentra en el tablero de protección general.

Tablero de protección general del transformador de 1000 kVA a 220V: En el tablero de protección general se conectan las cargas principales del circuito, es así que de la salida del interruptor alimenta con dos barras conductoras de cobre de 750mm^2 por fase con una capacidad de 2410A, la energía se divide a cada uno de los tableros de distribución interna y a los tableros de alimentación para llegar a su entrega final en los diferentes equipos consumidores. Ver ANEXO 7 Resumen de las cargas de las máquinas y equipos de los transformadores de Plasticaucho Industrial S.A.

Segundo tramo de la derivación de la cámara de transformación II:

1.- La alimentación llega a un seccionador portafusible con una capacidad de 20A.

Alimenta a un transformador de distribución, trifásico, 160kVA, con una relación de transformación de 13800V a 440V.

Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de un cable de 250mm tipo TTU por fase para una capacidad de 510A, alimenta a un interruptor fijo de 400A. Este transformador actualmente está inactivo, no existe ninguna carga conectada a él.

Todos los transformadores de las dos cámaras existentes, tienen un sistema de protección de a tierra formado por varillas de copperweld de 16mm de diámetro por 1.8m de longitud y un conductor de cobre desnudo, calibre No2 AWG.

3.2. Situación actual de la planta industrial II “Parque Industrial”.

El análisis de la situación actual de la planta industrial II, se toma los aspectos de la ubicación, el área de construcción, su situación eléctrica actual.

3.2.1. Localización de la planta industrial II “Parque Industrial”.

La planta industrial II, está ubicada en el sector del “Parque Industrial” IV etapa, en la Panamericana Norte Km. 8 de la ciudad de Ambato. La industria tiene un área de construcción de 85.181,2m². La planta industrial II, está comprendida de diferentes áreas: producción, mantenimiento y administrativas.

El área de producción, está formada por: Calzado de Plástico, Compuestos Termoplásticos, bodega de materia prima y bodega de producto terminado.

El área de mantenimiento, está formado por el personal de mantenimiento.

El área administrativo, está formado por las siguientes: Las oficinas de planta y oficinas administrativas. Ver ANEXO 4 Localización de la planta industrial II “Parque Industrial.”

3.4.2.

3.2.2. Tipo de instalación y trazado de la red.

3.4.3.

3.2.2.1. Red de media tensión de la planta industrial II del “Parque Industrial”.

La alimentación de la red de media tensión para Plasticaucho Industrial S.A, es entregada por la subestación de Samanga. Ver ANEXO 6 Diagrama unifilar de media tensión de la planta industrial II “Parque Industrial”.

En la subestación de Samanga arranca la alimentación desde el barramiento principal de la red de media tensión de 13800V existentes en la subestación. La energía pasa por unos pararrayos de distribución de 10kV, instalados en un pórtico construido exclusivamente para Plasticaucho continua la corriente eléctrica por unos seccionadores tipo barra de 600A, 15kV, hasta llegar a los bushing del lado primario del interruptor de potencia en vacío ALSTOM BLV 42/17-25-12,17.5kV, 1250A, todos estos equipos están ubicados en el patio de la subestación.

La alimentación continúa de los bushing del interruptor de potencia en vacío ALSTOM hasta unos seccionadores tipo barra de 600A, 15kV, dispuesto como un sistema de protección, instalado dentro de la subestación –Samanga, la operación de este disyuntor lo hace en forma local o remota desde el centro de control de la empresa eléctrica Ambato. Del lado opuesto al seccionador tipo barra la alimentación sale hasta llegar al equipo integrado de 3 TC's y TP's, instalados en una estructura.

Se tiene en el centro de distribución un interruptor tipo SF6 para las cámaras de transformación se tiene este interruptor con el fin de seccionar y proteger individualmente a

cada una de ellas, dando mayor seguridad tanto para mantenimiento como para la protección de cada uno de los ramales secundarios. En esta cámara de distribución existen interruptores a nivel de media tensión 13.8kV para cada una de las dos cámaras de transformación existentes.

Los ductos de alimentación son subterráneos. La cámara de distribución y protección principal, está conformada por dos paneles PGS, los mismos que controlan y protegen los alimentadores que van a las diferentes cámaras de transformación, combinan las ventajas de la interrupción en SF6 y el aislamiento en aire, garantizando fundamentalmente la seguridad personal, la operación segura con gran confiabilidad, bajo mantenimiento, espacio reducido para la instalación, adaptación de esquemas complejos.

Las celdas IS están instaladas en cada una de las cámaras, las mismas que serán conectadas a las puntas terminales de los cables que vienen del alimentador correspondiente desde las cámaras de distribución principal y además servirá para conectar a las barras de distribución con las celdas PFA-n.

Las celdas IS, son marca ALSTOM compuestas por: Un juego de barras de 630A, un seccionador bajo carga tipo ISR 630A, mando manual tipo tumbler C12 con enganche en la apertura, un seccionador de puesta a tierra y tres divisores capacitivos, enclavamiento interruptor SR-ST panel delantero.

De las celdas IS se alimentaran a las celdas PFA, estas celdas utilizan seccionadores fusibles bajo carga para la protección correspondiente a cada uno de los transformadores de potencia inferiores a 2MVA compuestas por: Un juego de barras de 630A, un seccionador bajo carga tipo ISR 200A, mando manual tipo tumbler C12 con enganche en la apertura, tres fusibles FD

de capacidad adecuada con percutor, un seccionador de puesta a tierra y tres divisores capacitivos, enclavamiento interruptor SR-ST panel delantero.

3.2.2.2. Red de baja tensión de la planta industrial II del Parque Industrial.

Primario	Secundario
----------	------------

Demanda de la planta industrial II “Parque Industrial”: La planta industrial II “Parque Industrial”, dispone de una carga instalada de aproximadamente 4,83MVA y una demanda máxima de 2,91MVA. La alimentación para la red de baja tensión se da a partir de las celdas PFA para cada uno de los transformadores de las dos cámaras de transformación.

Tramo de baja tensión para la alimentación de la cámara de transformación I: La potencia instalada en la cámara de transformación I es de aproximadamente 3.07MVA y la demanda máxima es de aproximadamente 1.82MVA.

La cámara de transformación I tiene la siguiente descripción en baja tensión:

1.- La alimentación continúa a un transformador de distribución, trifásico, de 750kVA, con una relación de transformación de 13800V a 220V.

Tabla 3.2. Datos técnicos de los transformadores del “Parque Industrial”.

#	# C.T.	Denominación	Tipo	Fase	P _n	V	A	V	A
					kVA				
1	CT01	Administración Central	DY5	3	75	13.800	3,14	220	196,82
2	CT01	Calzado Plástico	DY5	3	750	13.800	31,38	220	1.968,24
3	CT01	Calzado Plástico	DY5	3	500	13.800	20,92	440	656,08
4	CT02	Mezclas Termoplásticas	DY5	3	1000	13.800	41,84	440	1.312,16
5	CT02	Mezclas Termoplásticas	DY5	3	500	13.800	20,92	220	1.312,16
6	CT02	Mezclas Termoplásticas	DY5	3	75	13.800	3,14	220	196,82
7	CT02	Mezclas Termoplásticas	DY5	3	250	13.800	10,46	440	328,04

Elementos de protección y conducción del transformador de 750 kVA a 220V: Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de cuatro cables por fase de 400mm² tipo TTU se dirige a un interruptor regulable de 2000A a 3200A que se encuentra en la cámara de transformación, se dirige al tablero de protección general con dos barras de aluminio por fase de 800mm² con una capacidad de corriente de hasta 2410A y una barra de aluminio para el neutro con una sección de 800 mm².

Tablero de protección general del transformador de 750 kVA a 220V: En el tablero de protección general se conectan por medio de tres barras de aluminio por fase que tienen una capacidad de 3170A. En este tablero todas de las conexiones se dirigen de los interruptores a los elementos consumidores que son las máquinas inyectoras y los equipos de servicios generales.

2.- De la siguiente celda PF, alimenta a un transformador de distribución, trifásico, de 500kVA, con una relación de transformación de 13800V a 440V.

Elementos de protección y conducción del transformador de 500 kVA a 440V: Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de dos cables por fase

de 500mm cm tipo TTU a un interruptor regulable de 800 A a 1250 A, que se encuentra en la cámara de transformación.

Tablero de protección general del transformador de 500 kVA a 440 V: Para la conexión al tablero de protección general tenemos la continuación de energía eléctrica por medio de tres barras de aluminio por fase de 800 mm^2 con una capacidad de 3.170 A y dos cables de 500mm cm tipo TTU el neutro. En este tablero la mayoría de las conexiones se dirigen de los interruptores a los elementos consumidores que son las máquinas inyectoras.

3.- De la última celda PF que alimentan a un transformador de distribución, trifásico, de 75kVA, con una relación de transformación de 13800 V a 220 V.

Elementos de protección y conducción del transformador de 75 kVA a 220 V: Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de dos cables por fase de 2/0 tipo TTU a unos fusibles de cuchillas de 200 A, que se encuentra en la cámara de transformación.

Tablero de protección general del transformador de 500 kVA a 440 V: Continua la conexión al tablero de protección general por medio de dos cables por fase de 2/0 tipo TTU, alimentado de ese modo al tablero de protección general, destinado a una alimentación de equipos de oficina e iluminación y también para servicios generales.

Tramo de baja tensión para la alimentación de la cámara de transformación II: La potencia instalada en la cámara de transformación II es de aproximadamente 3.07 MVA y la demanda máxima es de aproximadamente 1.82 MVA.

La cámara de transformadores II tiene la siguiente descripción en baja tensión:

1.- Desde la celda PF, alimenta a un transformador de distribución, trifásico, de 500kVA, con una relación de transformación 13800V a 220V.

Elementos de protección y conducción del transformador de 500 kVA a 220V: Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de una barra conductora de cobre por una fase de 800mm^2 con una capacidad de 1500A, se dirige a un interruptor regulable de 1120A a 1400A que se encuentra en el tablero de protección general.

Tablero de protección general del transformador de 500 kVA a 220V: En el tablero de protección general la energía se divide por medio de una barra conductora de cobre de 800mm^2 con una capacidad para 1500A, a una gama de circuitos los cuales se dirigen a los respectivos interruptores que se dirigen a los diferentes elementos de consumo.

2.- De la siguiente celda PF, alimenta a un transformador de distribución, trifásico, de 75kVA, con una relación de transformación de 13800V a 220V.

Elementos de protección y conducción del transformador de 75 kVA a 220V: Del lado de baja tensión del transformador continua la alimentación por medio de un cable de calibre 2/0, tipo TW, se conecta a un interruptor regulable de 160A a 200A, que se encuentra en uno de los tableros destinado a la alimentación de iluminación de las naves de las diferentes secciones, alimenta a un tablero destinado a la alimentación de las baterías.

3.- De la última celda PF, existe una derivación por medio de un seccionador de barra que se dirige a los siguientes transformadores:

3.1.- La alimentación continúa a un seccionador portafusible, protegiendo a un transformador de distribución, trifásico, de 1000kVA, con una relación de transformación de 13800V a 440V.

Tablero de protección general del transformador de 1000 kVA a 440 V: La alimentación continúa a un tablero de protección general por medio de dos cables de 500mm tipo TTU, que alimenta a un interruptor regulable de 500A a 1250A, de la salida de este interruptor tenemos una barra conductora de cobre de 600 mm², que alimentan a un determinado número de interruptores que se dirigen a los diferentes elementos de consumo.

3.2.- La alimentación continúa a un seccionador portafusible, protegiendo a un transformador de distribución, trifásico, de 250kVA, con una relación de transformación de 13800V a 440V.

Todos los transformadores tienen una protección de puesta a tierra existente el cual está formado por varillas de copperweld de 16mm de diámetro por 1.8m de longitud y un conductor de cobre desnudo, calibre No 2 AWG.

CAPÍTULO IV

4. EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS APARATOS Y ELEMENTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN.

4.1. Características de las cargas.

Las características eléctricas para la realización del proyecto en baja tensión, se obtiene de los técnicos de cada area, de las dos plantas industriales o por medio de los manuales de especificación de los equipos. Los datos tecnicos que se toman en cuenta son:

- Potencia.
- Tensión.
- Corriente.
- Frecuencia.
- Fases.
- Conexiones posibles.

4.2. División de cargas por tableros.

Para la determinación de la carga se toma en cuenta la demanda de las cargas de los elementos de consumo. Se debe considerar las areas individuales de producción para la correcta distribución de las cargas en los tableros. Es importante contar con un plano de todos los elementos de consumo eléctrico que ayudará a identificar con mayor exactitud cómo se encuentran distribuidos en las plantas industriales.

4.2.1. Ubicación de los tableros de alimentación o terminal. (TA).

- Se debe encontrar cerca de los alimentadores o elementos de consumo.
- Alejado de los lugares de tránsito de las personas.
- El ambiente donde se coloque el tablero debe estar bien iluminado.
- En locales de fácil acceso.
- En lugares no sujetos a gases corrosivos, inundaciones, etc.
- En ambientes con temperatura adecuado.

Los tableros que comandan motores se denominan Centro de Control de Motores (CCM), existen tableros que están destinados para el uso exclusivo de iluminación y son denominados como Tableros de Distribución de Luz (TDL).

4.2.2. Ubicación del tablero de protección general. (TPG)

Estos tableros se ubican de preferencia en la subestación o en un área contigua a ésta. Se los conoce también como Tablero General de Fuerza (TGF).

Las condiciones generales sobre los tableros de distribución están principalmente en el ambiente en que son instalados, además deben presentar un buen acabado, rigidez mecánica, y una buena disposición de los equipos y de los instrumentos.

Los tableros de protección general, los tableros de subdistribución, los tableros de alimentación y los tableros de iluminación deben tener las siguientes características:

- Tensión nominal.
- Corriente nominal.

- Tipo de conductores.
- Temperatura ambiente adecuada.

4.2.3. Ubicación de la subestación.

Para la ubicación de las subestaciones se debe tener en consideración el área de construcción, también la seguridad de la industria, cuando el producto de fabricación es de alto riesgo.

Se puede elegir también el lugar técnicamente adecuado de tal manera que no esté muy alejado de la carga, para no utilizar alimentadores largos y de sección elevada.

4.3. Circuitos de distribución.

Son los circuitos que derivan del tablero general de fuerza y alimentan uno a más centros de control de mando como CCM, TDL y los TA.

Los circuitos de distribución deben ser protegidos en el punto de origen a través de disyuntores o fusibles de capacidad adecuada a las cargas y a las corrientes de corto circuito.

Los circuitos deben poseer un dispositivo de seccionamiento para proporcionar condiciones satisfactorias de maniobra.

4.4. Determinación de la demanda.

4.4.1. Factor de utilización.

Es el factor por el cual debe ser multiplicada la potencia nominal de los equipos para obtener la potencia media absorbida por los mismos en las condiciones de uso de los diferentes

equipos. Ante la falta de datos más precisos puede ser adoptado un factor de utilización igual a 0.75 para motores.

Tabla 4.1. Factor de utilización.

APARATOS ELÉCTRICOS	FACTOR DE UTILIZACIÓN F_{uec}
Hornos	1
Secadoras, calderas	1
Compresor	1
Hornos de inducción	1
Motores de 3/4 a 2.9 C V	0,7
Motores de 3 a 19 C V	0,83
Motores de 20 a 40 C V	0,85
Arriba de 40 C V	0,87
Rectificadores	1
Soldadoras	1
Iluminación	1
Aire acondicionado	1

4.4.2. Demanda individual de los tableros de alimentación y distribución de iluminación.

Se obtiene sumando las demandas individuales de las maquinas electricas y se multiplica por el respectivo factor de utilización. [9]

$$D_{ec} = P_{ne} \times F_{uec} \quad (4.1)$$

Donde: D_{ec} = Demanda individual de los equipos [kW o kVA].

P_{ne} = Potencia nominal de los equipos [kW].

F_{uec} = Factor de utilización de los equipos [adimensional].

Se ha tomado en concideracion para el estudio del presente proyecto las cargas conectadas al transformador de 1000kVA a 440V, ubicado en la planta industrial I “Catiglata”, de la cámara de transformación I perteneciente al área de mezclas caucho:

$$D_{ec} = 304,62 \times 0,87$$

$$D_{ec} = 265,02 \text{ k V A}$$

En la siguiente tabla se indica el cálculo de la demanda individual de los equipos eléctricos.

Tabla 4.2. Cargas conectadas en el transformador de 1000kV A a 440V.

ACTIVOS	V	P _n kW	F _{uec}	D _{ec} k V A
Mezcladora-3	440	304,62	0,87	265,02
Colector-1	440	89,48	0,87	77,85
Molino-5	440	132,00	0,87	114,84
Prensa-16	440	62,99	0,75	47,24
Prensa-17	440	62,99	0,75	47,24
Prensa-18	440	62,99	0,75	47,24
Prensa-19	440	27,44	0,75	20,58
Calandra-1	440	31,32	0,75	23,49
Molino-6	440	92,50	0,87	80,48
Molino-7	440	74,57	0,87	64,88
Molino-8	440	12,50	0,83	10,38
Inyectora-7	440	22,86	0,75	17,15
Compresor-3	440	74,57	0,87	64,88
Molino-9	440	78,30	0,87	68,12
Centro de mecanizado-1	440	12,80	0,83	10,62
Molino-10	440	93,59	0,87	81,42

4.4.3. Demanda del tablero de distribución general.

Es obtenida sumando las demandas individuales concentradas en los tableros de distribución.

$$D_{max} = \sum D_{ecn} \quad (4.2)$$

Donde: D_{max} = Demanda máxima de la instalación [kW o kV A].

D_{ec} = Demanda del equipo [kW o kV A].

Tabla 4.3. Demanda máxima en los transformadores

PLANTA INDUSTRIAL I "CATIGLATA"			
ÁREAS	Voltaje	P _{TRAFO}	D _{max}
	V _{TRAFO}	kVA	kVA
Suelas	220	1000	1559,23
Servicios. Generales. Catiglata	220	200	147,71
Mezclas Caucho	440	1000	1041,41
Inyección. Y terminado lona	220	1000	970,40
PLANTA INDUSTRIAL II "PARQUE INDUSTRIAL"			
ÁREAS	Voltaje	P _{TRAFO}	D _{max}
	V _{TRAFO}	kVA	kVA
Inyección y Terminado Plástico	220	750	1048,06
Inyección y Terminado Plástico	440	500	707,44
Servicios Generales Parque. Industrial.	220	75	64,93
Mezclas Termoplásticas	220	500	347,09
Mezclas termoplásticas / Servicios Generales	220	75	68,38
Mezclas Termoplásticas	440	1000	454,98
Mezclas Termoplásticas	440	250	218,81

4.4.4. Carga conectada o potencia instalada.

Es la suma de las potencias nominales de los aparatos consumidores de energía eléctrica.

$$P_{inst} = \frac{P_n}{\cos\phi \times \eta} \quad (4.3)$$

Donde: P_{inst} = Potencia instalada [kVA].

P_n = Potencia nominal de los equipos [kW].

Cosφ = Factor de potencia [adimensional].

η = Rendimiento [adimensional].

$$P_{inst} = \frac{304,62 \text{ kW}}{0,89 \times 0,90}$$

$$P_{inst} = 380.30 \text{ kVA}$$

Tabla 4.4. Potencia instalada en el transformador de 1000kVA a 440V

A C T I V O S	F _{u e c}	C O S φ	η %	P _{i n s t.} k V A
M e z c l a d o r a - 3	0,87	0,89	0,90	380,30
C o l e c t o r - 1	0,87	0,87	0,90	114,28
M o l i n o - 5	0,87	0,80	0,84	196,43
P r e n s a - 1 6	0,75	0,87	0,90	80,44
P r e n s a - 1 7	0,75	0,87	0,90	80,44
P r e n s a - 1 8	0,75	0,87	0,90	80,44
P r e n s a - 1 9	0,75	0,85	0,90	35,86
C a l a n d r a - 1	0,75	0,85	0,90	40,94
M o l i n o - 6	0,87	0,60	0,81	190,33
M o l i n o - 7	0,87	0,79	0,90	104,88
M o l i n o - 8	0,83	0,75	0,86	19,38
I n y e c t o r a - 7	0,75	0,83	0,90	30,61
C o m p r e s o r - 3	0,87	0,87	0,90	95,24
M o l i n o - 9	0,87	0,77	0,90	112,98
C e n t r o d e m e c a n i z a d o - 1	0,83	0,86	0,88	16,91
M o l i n o - 10	0,87	0,87	0,90	119,52

4.4.5. Cálculo del factor de demanda.

Es la relación entre la demanda máxima del sistema y la carga total conectada a ella durante un intervalo de tiempo determinado.

$$F_d = \frac{D_{max}}{P_{ins}} \quad (4.4)$$

Donde: F_d = Factor de demanda [adimensional].

D_{max} = Demanda máxima de la instalación [kW o kVA].

P_{ins} = Potencia de carga conectada [kW o kVA].

Para determinar el cálculo del factor de demanda, se utilizará la ecuación (3), utilizando los cálculos de demanda máxima y potencia instalada se tiene el siguiente resultado.

$$F_d = \frac{1041.41 \text{ kVA}}{1699 \text{ kVA}}$$

$$F_d = 0.61$$

El factor de demanda indica que del total la carga instalada en el transformador, el 61% de esta carga, está activa dentro de un periodo determinado, si la carga fuese igual a la unidad, correspondería a indicar que toda la carga conectada al sistema está trabajando simultáneamente dentro de un periodo grande.

Tabla 4.5. F_D de las dos plantas industriales de Plasticaucho Industrial

PLANTA INDUSTRIAL I "CATIGLATA"			
ÁREAS	VOLTAJE	P _{TRAFO}	F _D
	V _{TRAFO}	kVA	
Suelas	220	1000	0,58
Servicios Generales Catiglata	220	200	0,77
Mezclas Caucho	440	1000	0,61
Inyección. y Terminado Lona	220	1000	0,55
PLANTA INDUSTRIAL I "CATIGLATA"			
ÁREAS	VOLTAJE	P _{TRAFO}	F _D
	V _{TRAFO}	kVA	
Inyección. Y Terminado Plástico	220	750	0,58
Inyección. y Terminado Plástico	440	500	0,60
Servicios generales parque Industrial.	220	75	0,61
Mezclas Termoplásticas	220	500	0,55
Mezclas Termoplásticas / Servicios Generales	220	75	0,90
Mezclas Termoplásticas	440	1000	0,69
Mezclas Termoplásticas	440	250	0,56

4.5. Cálculo de la capacidad de los transformadores.

Para el cálculo de la capacidad del transformador se presenta la siguiente ecuación, tomando el respectivo factor de demanda en cada uno de los transformadores, debido a que es un valor tomado para un tiempo determinado de acuerdo a la carga instalada:

$$S = F_d \times \sqrt{3} \times V_L \times I_L \quad (4.5)$$

Donde: S = Capacidad del transformador, potencia aparente [kVA].

F_d = Factor de demanda [adimensional].

V_L = Voltaje de línea [V].

I_L = Corriente de línea [A].

Tabla 4.6. Consumo eléctrico conectados con un voltaje de 440 V

ACTIVOS	P_n kW	I_n A
Mezcladora-3	304,62	499,01
Colector-1	89,48	149,96
Molino-5	132,00	257,75
Prensa-16	62,99	105,56
Prensa-17	62,99	105,56
Prensa-18	62,99	105,56
Prensa-19	27,44	47,06
Calandra-1	31,32	53,72
Molino-6	92,50	249,74
Molino-7	74,57	137,62
Molino-8	12,50	25,43
Inyectora-7	22,86	80,32
Compresor-3	74,57	124,97
Molino-9	78,30	148,25
Centro de mecanizado-1	12,80	22,19
Molino-10	93,59	156,83
TOTAL		2269,52

$$S = 0.61 \times \sqrt{3} \times 440 \text{ V} \times 2269.52 \text{ A}$$

$$S = 1060.17 \text{ kVA}.$$

En el transformador que actualmente se encuentran conectadas las cargas es uno de 1000kVA a 440V. Teniendo en consideración que la capacidad recomendada del transformador es del 10% de su capacidad nominal en este caso debería estar conectada una carga de hasta los 1100kVA. Con la carga del cálculo de 1060.17kVA, se indica que esta dentro del rango determinado e indica además que puede ser utilizado este transformador con una carga de hasta 39.83kVA.

Tabla 4.7. Capacidades de los transformadores de Plasticaucho Industrial.

			C Á L C U L O		P _n x 10%		
A R E A S	V	P _n	P _{T R A F O}	P _{i n s t}	P _{m a x}	Capacidad utilizada	Cap. máx. a utilizar
		k V A	k V A	k V A	k V A	%	k V A
Suelas	220	1000	1559,23	2698,94	1100,00	155,92	459,23
Servicios Generales Catiglatá	220	200	147,71	193,03	220,00	73,86	72,29
Mezclas Caucho	440	1000	1041,41	1699,00	1100,00	104,14	58,59
Inyección y terminado Lona	220	1000	970,40	1742,02	1100,00	97,04	129,60
Inyección y terminado Plástico	220	750	1048,06	1800,02	825,00	139,74	-223,06
Inyección y terminado Plástico	440	500	707,44	1179,50	550,00	141,49	-157,44
Servicios Gen. Parque industrial	220	75	64,93	89,54	82,50	86,58	17,57
Mezclas termoplásticas	220	500	347,09	630,22	550,00	69,42	202,91
Mezclas termop / servicios Gn.	220	75	68,38	75,95	82,50	91,17	14,12
Mezclas termoplásticas	440	1000	454,98	661,32	1100,00	45,50	645,02
Mezclas termoplásticas	440	250	218,81	389,11	275,00	87,52	56,19

4.5.1. Selección de los transformadores.

Se debe tomar en consideración los siguientes aspectos para la selección adecuada de los transformadores:

- Se debe establecer el número de fase y la frecuencia a la que va a trabajar.
- Determinar el voltaje en el lado del primario del transformador. En nuestro caso sería el voltaje en el primario de 13800V en corriente alterna.
- Establecer el voltaje en el lado del secundario del transformador. Para el caso del estudio se tendrán dos tipos de voltaje de 220V y de 440V, a corriente alterna.

4.6. Cálculo de las protecciones eléctricas.

El cálculo de las protecciones para cada uno de los transformadores se tiene como valor máximo de conducción del transformador considerando que este va a ser cargado al 100% y se dimensionará las protecciones para tales potencias máximas según la ecuación [10]:

$$I_{\text{protección}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (4.6)$$

Donde: $I_{\text{protección}}$ = Capacidad de la corriente de protección [A].

S = Capacidad del transformador, potencia aparente [kVA].

V = Voltaje de línea [V].

Además para el cálculo de protecciones, se trabaja con un factor de seguridad del 25 % :

$$I_{\text{protección}} = f_s \times \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (4.7)$$

$$I_{\text{protección}} = 1.25 \times \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (4.8)$$

Donde: $I_{\text{protección}}$ = Capacidad de la corriente de protección [A].

f_s = Factor de seguridad constante de 1.25 [adimensional].

Para la protección en el lado de alta tensión A.T, se utilizará la ecuación (4.8) obteniendo:

$$I_{\text{protección}} = 1.25 \times \frac{1060.17 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 13800 \text{ V}}$$

$$I_{\text{protección}} = 55.44 \text{ A}$$

La protección para el lado de Alta tensión para el transformador es de 63A, actualmente tiene un seccionador portafusible de 80A que protege todo el sistema de corrientes de cortocircuito y sobretensiones.

Para la protección para el lado de baja tensión aplicamos la misma ecuación:

$$I_{\text{L.T.}} = 1.25 \times \frac{1060.17 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 440 \text{ V}}$$

$$I_{\text{L.T.}} = 1738.89 \text{ A}$$

La protección para el lado de baja tensión para el transformador será de 2000A , actualmente tiene un interruptor termomagnético regulable de 500A a 1250A . Este subdimensionamiento se debe a que se han ido incrementando las cargas debido a que la empresa ha crecido. A continuación se presenta un cuadro de resumen de las protecciones en alta y baja tensión de las respectivas terminales del transformador.

Para seleccionar los interruptores de baja tensión de los diferentes subtableros de distribución interna, para los tableros de alimentación se utilizará como máximo la corriente de carga efectiva, la ecuación es la siguiente:

$$I_{LT.B.T.} = I_{efectiva} \quad (4.9)$$

Tabla 4.8. Protecciones eléctricas de alta y baja tensión para los transformadores de Plasticaucho Industrial.

SECCIONES	VOLTAJE	P _n	P _{TRAFO}	Protección Eléctrica A.T.	Prot. Eléc. B.T.
	V	kVA	kVA		
SUELAS	220	1000	1559,23	81,54	5114,91
SERV. GEN. CATIGLATA	220	200	147,71	7,72	484,55
MEZCLAS CAUCHO	440	1000	1041,41	54,46	1708,12
INY. Y TERMINADO LONA	220	1000	970,40	50,75	3183,31
INY. Y TERMINADO PLASTICO	220	750	1048,06	54,81	3438,05
INY. Y TERMINADO PLASTICO	440	500	707,44	37,00	1160,35
SERVICIOS GENERALES PARQ. IND.	220	75	64,93	3,40	213,01
MEZCLAS TERMOPLASTICAS	220	500	347,09	18,15	1138,61
MEZCLAS TERMOPL / SERV. GEN.	220	75	68,38	3,58	224,32
MEZCLAS TERMOPLASTICAS	440	1000	454,98	23,79	746,26
MEZCLAS TERMOPLASTICAS	440	250	218,81	11,44	358,89

4.6.1. Selección de los interruptores termomagnéticos.

Es importante tomar en consideración la selección de los interruptores automáticos y se tomará como referencia los valores de las corrientes calculadas, anteriormente, de esta manera la conducción del interruptor deberá ser por lo menos la igual a la corriente calculada. Se considera que existen diferentes tipos de interruptores por lo cual es necesario determinar los

que se vayan a utilizar, como pueden ser fijos o variables según el uso y dependiendo de la corriente que estos pueden proteger al sistema.

- Determinar uno de los aspectos como son la intensidad de carga a proteger.
- Tensión asignada para el interruptor automático.
- Poder de corte.
- Número de polos.
- Curvas características de disparo.

4.7. Cálculo de los conductores eléctricos.

Para el dimensionamiento de los conductores eléctricos se debe realizar un análisis detallado de las condiciones de la instalación y de la carga existente. Debido a que un mal dimensionamiento puede provocar una operación inadecuada de la carga además de representar un elevado riesgo de incendio, etc.

Los factores que intervienen son:

Tensión nominal.

Frecuencia nominal.

Potencia de carga.

Corriente de carga.

Tipo de sistema (monofásico o trifásico).

Condiciones del ambiente.

Tipo de carga.

Distancia de la carga al punto de suministro.

La mayoría de las instalaciones industriales utilizan el cobre como elemento conductor, el uso del conductor aluminio es muy reducido debido a que necesita mayor cuidado en la manipulación, e instalación debido a sus propiedades mecánicas.

Para el cálculo de la corriente de carga en el conductor eléctrico se tomará la siguiente ecuación:

$$I_{AL} = f_d \times \frac{P_n}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta} \quad (4.10)$$

Donde: I_{AL} = Corriente de carga del alimentador [A].

f_d = Factor de demanda [adimensional].

P_n = Potencia nominal [kW]

V = Voltaje de línea [V].

$\cos \phi$ = Factor de potencia [adimensional].

η = Rendimiento es [adimensional].

4.7.1. Cálculo de elementos de consumo agrupados.

Para el cálculo de elementos de consumo que están agrupados, en los diferentes subtableros de distribución y en los tableros de alimentación se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{AL} = f_d \times (\sum I_j + 1.25 \times I_{mm}) \quad (4.11)$$

Donde: I_{AL} = Corriente de carga del alimentador [A].

f_d = Factor de demanda [adimensional].

I_j = Corriente de cada uno de los elementos conectados [A].

I_{mm} = Corriente del elemento de consumo de mayor capacidad, dentro del grupo considerado [A].

Para obtener la ecuación en función de las potencias, reemplazamos la ecuación (13) en la ecuación (14) teniendo la siguiente expresión:

$$I_{AL} = f_d \times \frac{(\sum P_j + 1.25 \times P_{mm})}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta} \quad (4.12)$$

Donde: I_{AL} = Corriente de carga del alimentador [A].

f_d = Factor de demanda [adimensional].

P_j = Carga de cada uno de los elementos conectados [kW].

P_{mm} = Carga o potencia del elemento de consumo de mayor capacidad, dentro del grupo considerado [kW].

4.7.2. Cálculo de la sección o calibre de los conductores eléctricos.

Se tomará en consideración para el cálculo de la sección transversal de los alimentadores que la pérdida de tensión máxima permitida es del 3% para el circuito alimentador o principal como los subtableros de distribución interna y el 3% para el circuito derivado como los tableros de alimentación sin que los dos juntos sobrepasen el 5%.

Para el estudio que se está realizando, la pérdida de tensión máxima será del 2% para los subtableros de distribución interna y los tableros de alimentación.

La ecuación que determina el cálculo de la sección transversal de los alimentadores mínima permitida, se indica en la ecuación:

$$s = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times l \times I_{AL}}{V_1 \times V} \quad (4.13)$$

Donde: s = Sección transversal del conductor eléctrico [mm²].

ρ = resistividad específica del conductor $\left[\frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}\right]$.

l = Longitud del circuito alimentador [m].

I_{AL} = Corriente de carga del alimentador [A].

V = Pérdida de tensión [%].

V_1 = tensión aplicada al circuito [V].

Los alimentadores son de cobre de 100% de conductividad tiene una resistividad igual a

$$\frac{1}{56} \left[\frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}\right].$$

4.7.3. Cálculo de la pérdida de tensión.

La pérdida de tensión es la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo del alimentador de la instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma instalación cuando circula corriente.

Para el cálculo de la caída de tensión, el estudio a realizar se lo hará por medio de la resistencia kilométrica R_1 y de la autoinducción kilométrica X_1 . La siguiente ecuación para el cálculo de la caída de tensión de los alimentadores.

$$V = [(V_2 \times \cos \phi_2 + \sqrt{3} \times R_t \times I)^2 + (V_2 \times \sin \phi_2 + \sqrt{3} \times X_t \times I)^2]^{1/2} - V_2 \quad (4.14)$$

Donde: V = Pérdida de tensión en los alimentadores [V].

V_2 = Tensión nominal de los elementos de consumo [V].

I = Corriente de carga en el alimentador [A].

R_1 = Resistencia total del alimentador [Ω].

X_1 = Reactancia inductiva total en los circuitos de los alimentadores [Ω].

4.7.4. Cálculo de la reactancia inductiva de los conductores.

La ley de inducción electromagnética implica que todo desplazamiento de carga eléctrica está acompañado de la formación de campos magnéticos. La inductancia es un parámetro de los elementos un circuito que resulta de dividir el flujo magnético considerando como líneas de flujo que eslabonan trayectorias de corriente entre la corriente que circula por dicho elemento, se mide en henrios [H].

Se puede considerar que la inductancia es la suma de dos términos llamados: inductancia propia correspondiente a los efectos por la circulación de la corriente en el elemento, e inductancia mutua o externa debido a trayectorias de corriente en elementos cercanos.

La inductancia mutua depende del radio medio geométrico del conductor la ecuación es:

$$R_{MG} = k \times R \quad (4.15)$$

Donde: R_{MG} = Radio medio geométrico [mm]

R = Radio del conductor [mm]

k = Constante de construcción del conductor [Adimensional]

En los casos de que existan varios conductores por fase el R_{MG} del grupo de alimentadores se calculará con la siguiente ecuación:

$$RMG_{eq} = \sqrt[n]{n * r * R^{n-1}} \quad (4.16)$$

Donde: $R_{MG_{eq}}$ = Radio medio geométrico equivalente por fase [mm]

r = Radio geométrico de un conductor [mm]

n = Número de conductores por fase

R = Radio del círculo formado por el polígono regular en cuyos vértices están colocados los conductores [mm]

La inductancia mutua o externa depende de la disposición del conductor con respecto a los otros y de la forma de los forros conductores o pantalla así como su conexión a tierra. Si consideramos un alimentador trifásico de un sistema ABC, cuyas distancias entre conductores son AB, BC, y CA, existe una distancia llamada media geométrica (DMG) cuya ecuación es:

$$DMG = \sqrt[3]{AB * BC * AC} \quad (4.17)$$

Donde: DMG =: Distancia media geométrica [mm]

AB = distancia entre conductores A-B

BC = distancia entre conductores B-C

AC = distancia entre conductores A-C

Con la ayuda de la ecuación del DMG y del RMG se calcula la inductancia media del sistema en henrios/km cuya ecuación es:

$$L = *10^{-4} * \ln \frac{DMG}{RMG} \quad (4.18)$$

También es conocido que la frecuencia del sistema eléctrico es de 60Hz, la reactancia inductiva se calcula con la ecuación:

$$X_L = 0,1734 \log \frac{DMG}{RMG} \quad (4.19)$$

Por lo que la reactancia total será:

$$X_t = 0,1734 \log \frac{DMG}{RMG} * l \quad (4.20)$$

Donde: X_t = Reactancia inductiva total [Ω].

L = Inductancia media del sistema [henrios/Km].

f = Frecuencia del sistema [Hz].

l = Longitud del alimentador [Km].

4.7.5. Cálculo de resistencia interna de los conductores seleccionados.

El valor de la componente resistiva de la ecuación, se expresa en términos de ohmios, y con el valor de la sección del alimentador aplicamos la ecuación:

$$R_t = k * l \quad (4.21)$$

Donde: R_t = Resistencia total [Ω]

k = Reactancia kilométrica [Ω /Km]

l = Longitud del alimentador [Km]

4.7.6. Verificación de la pérdida de tensión en términos de porcentaje.

Para la verificación de la pérdida de tensión en términos de porcentaje se aplica la ecuación:

$$\% = \frac{V}{V_2} * 100 \quad (4.22)$$

4.7.7. Selección de los tipos de cables alimentadores.

Para una buena selección de cables se deberá tomar en consideración la temperatura expuesta a los conductores, el ambiente donde están estos conectados, niveles de combustibles, ambientes de tipos conductores de energía, como por ejemplo:

- Aislante de material termoplástico PVC.
- Tensión permitida.
- Resistencia a la temperatura.
- Tipo de recubrimiento según el ambiente al que va a estar expuesta.

4.8. Cálculo de bancos de condensadores.

Determinados equipos como motores eléctricos, hornos a arco, transformadores, etc., necesitan para su operación una cierta cantidad de potencia reactiva que puede ser suministrada por diversas fuentes conectadas al sistema eléctrico, funcionando individual o simultáneamente. Estas fuentes son: Generadores, motores síncronos, capacitores.

Se puede considerar también que las líneas de transmisión y de distribución de energía eléctrica son fuentes de energía reactiva, debido a su reactancia. Esta energía comprende dos diferentes partes:

- Energía reactiva inductiva.
- Energía reactiva capacitiva.

Es fácil concluir que para evitar el transporte de energía reactiva desde lugares distantes a la carga, se hace necesario que se instalen en las proximidades de los consumidores las referidas

fuentes de energía reactiva. De esta forma se reducen las pérdidas en transmisión de este bloque de energía, que da como resultado un mejor rendimiento del sistema eléctrico.

La energía reactiva inductiva es generada por equipos consumidores que normalmente tienen bobinas, como los motores de inducción, reactores, transformadores, etc. O los que operan con la formación de arco eléctrico como los hornos de arco.

Los equipos utilizados en una instalación industrial son en su mayoría generadores parciales de energía reactiva inductiva la cual no produce ningún trabajo útil, sino que solamente son responsables por la formación de campo eléctrico de los referidos equipos.

Esta energía es suministrada por fuentes generadoras ubicadas normalmente distantes de la planta industrial, produciendo pérdidas por efecto joule muy elevadas en el sistema de transmisión y distribución.

Tomando como referencia el triángulo de potencias, se determina la siguiente ecuación para el cálculo de la potencia reactiva.

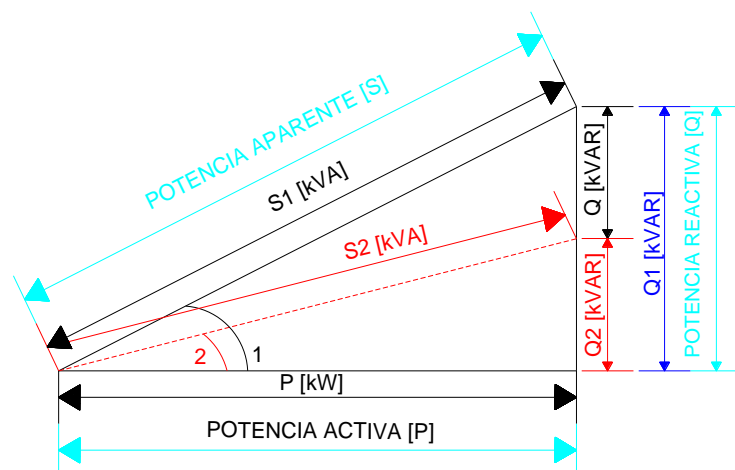


Figura 4.1. Triángulo de potencias.

La ecuación se utilizará en la determinación de la potencia reactiva necesaria para compensar el ángulo de fase o factor de potencia para los diferentes Subtableros de Distribución Interna y de igual manera para los equipos que necesiten compensar esta energía.

$$Q_1 - Q_2 = P[Tan(ArcoCos\phi_1) - Tan(ArcoCos\phi_2)] \quad (4.23)$$

4.8.1. Causas de bajo factor de potencia.

Las siguientes son las causas más comunes que se dan en las industrias y son las que llevan a un bajo factor de potencia:

Motores de inducción operando en vacío durante un largo periodo.

Motores sobredimensionados para las máquinas a ellas acopladas.

Transformadores operando en vacío o con carga mínima.

Gran número de reactores de bajo factor de potencia alimentando lámparas de descarga (fluorescentes, vapor de mercurio, etc.).

Hornos a arco.

Máquinas de soldadura con transformador.

Equipos electrónicos.

Gran número de motores de pequeña potencia operando largo tiempo.

En la empresa, existe predominio de motores eléctricos de inducción de un valor casi total de la carga, que implica que sea necesario hacer consideraciones sobre la influencia en el comportamiento del factor de potencia.

Según las curvas se observa que la potencia reactiva absorbida por un motor de inducción aumenta muy levemente, desde su operación en vacío hasta su operación a plena carga.

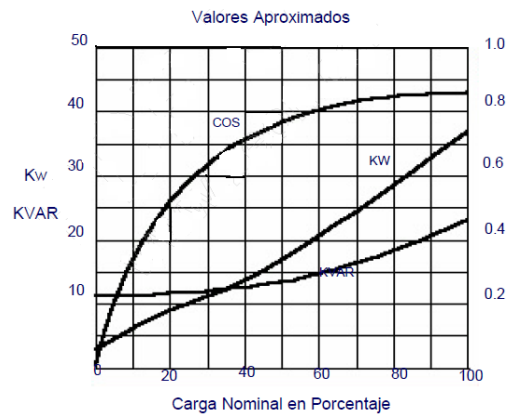


Figura 4.2. Variación del factor de potencia en función de la carga del motor.

Se puede observar que la potencia activa absorbida de la red crece proporcionalmente con el incremento de la carga acoplada al eje del motor. Como resultado de las variaciones de las potencias activas y reactivas en la operación de los motores de inducción, desde su funcionamiento en vacío hasta plena carga, el factor de potencia varía también proporcionalmente a esta variación, volviéndose importante de esta forma, el control operativo de los motores por parte del responsable de las instalaciones.

4.8.2. Cálculo de protecciones para los bancos de condensadores.

En la siguiente ecuación presentamos el cálculo para la protección de la corriente que circulará por el banco de condensadores:

$$I_{L.T.} = \frac{Q}{\sqrt{3} \times V_L} \quad (4.24)$$

Donde: $I_{L.T.}$ = Capacidad del interruptor de term om agnético [A].

Q = Potencia reactiva [kV A R].

V_L = Voltaje en baja tensión [V].

La corriente nominal de los conductores, equipos de conexión y desconexión y dispositivos de protección para un banco de condensadores debe ser de por lo menos el 135 % de la corriente nominal de los condensadores.

Los fusibles son una excepción ya que su corriente no deber ser inferior al 165 % de la corriente nominal de los capacitores:

$$I_{I.T.} = f_{sc} \times \frac{Q}{\sqrt{3} \times V_L} \quad (4.25)$$

Donde: $I_{I.T.}$ = Capacidad del interruptor de term omagnético [A].

$f_{s.c}$ = factor de seguridad equivalente a 1.35 [adim ensional].

Q = Potencia reactiva [kV A R].

V_L = V oltaje en baja tensión [V].

4.8.3. Selección de los bancos de condensadores.

Los bancos de corrección del factor de potencia para cada uno de los subtableros y los tableros de protección general, deberán tener una capacidad de [kV A R] calculada con juegos de condensadores, considerando que entren en pasos de acuerdo con corriente de carga.

Los condensadores se seleccionan según las capacidades estandarizadas para la selección de los bancos de condensadores, se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Determ inar el voltaje a ser manejado en los condensadores.
- Determ inar los kV A R necesarios para la corrección.
- Establecer el m odo de acoplamiento de pasos fijos y automáticos.
- Se debe determ inar los kV A R por paso.

4.9. Cálculo de los conductores de tierra.

El calibre de los conductores de puesta a tierra de los equipos no debe ser menor a lo establecido en norma del NEC 250-95. Que dice “Cada conductor de puesta a tierra de equipos instalados en paralelo, debe tener un calibre determinado sobre la base de la corriente nominal del dispositivo de protección contra sobre corriente (interruptor termomagnético) que proteja los conductores del circuito”.

Para la selección de los conductores de puesta a tierra tanto para los Centro de Control de Motores y Subtableros de Distribución Interna se lo podrá realizar con la ayuda de la norma del NEC. 250-95.

4.10. Ejemplo de los cálculos eléctricos.

Para los cálculos eléctricos se ha tomado como referencia las potencias conectadas en el transformador de 1000kVA, de la planta industrial I, de la cámara de transformación I, perteneciente a la sección de mezclas caucho.

Tableros de alimentación pertenecientes al tablero de protección general T.P.G .03

Por tratarse de cálculos repetitivos en el diseño del sistema de distribución de baja tensión tanto como de protecciones, alimentadores, conductores de puesta a tierra y capacidad de los respectivos bancos de corrección del factor de potencia se hará un cálculo referencial para el Tablero de protección general, el mismo que consta de dos tableros de alimentación el TA 28 y el TA 29, la mayoría de los equipos están conectados al tablero de protección general.

Cálculo de la corriente de carga en los alimentadores para el tablero de alimentación

TA 28. Aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo de la corriente del alimentador:

$$I_{AL} = f_d \times \frac{(\sum P_j + 1.25 \times P_{mm})}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta}$$

Para el cálculo de la corriente de carga en los alimentadores consideraremos lo siguiente:

Datos técnicos de carga del tablero de alimentación TA 28:

Potencia o carga del grupo:	188.96 kW
Potencia o carga máxima del grupo:	62.99 kW
Rendimiento:	0.90
Factor de potencia:	0.87
Factor de demanda:	61 %
Longitud del alimentador:	50 m

$$I_{AL} = 0.61 \times \frac{(188.96 + 1.25 \times 62.99) \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 440 \text{ V} \times 0.87 \times 0.90}$$

$$I_{AL} = 274.98 \text{ A}$$

Cálculo de la sección o calibre de los alimentadores, utilizamos la ecuación:

$$s = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times l \times I_{AL}}{\sqrt{3} \times \left(\frac{V_1 \times V_2}{56} \right) \times 50 \text{ m} \times 274.98 \text{ A}}$$

$$s = \frac{48.32 \text{ mm}^2}{440 \text{ V} \times 0.02}$$

$$s = 48.32 \text{ mm}^2$$

Del ANEXO 2 de los conductores eléctricos, seleccionamos el cable, el más adecuado según

la ubicación del tablero y por la sección calculada es un cable eléctrico de 1/0 tipo THHN,

cuya sección transversal corresponde a 53.49 mm^2 , este cable eléctrico tiene una capacidad de

125 A y para cubrir la capacidad de corriente que demanda se utilizarán dos conductores eléctricos por fase.

Cálculo de la pérdida de tensión, utilizamos la ecuación:

$$V = [(V_2 \times \cos\varphi_2 + \sqrt{3} \times R_t \times I)^2 + (V_2 \times \sin\varphi_2 + \sqrt{3} \times X_t \times I)^2]^{1/2} - V_2$$

Datos técnicos de conductor eléctrico calculado:

Sección:	53.49 m ²
Capacidad de conducción:	125 A
Calibre:	1/0, tipo THHN
Diámetro exterior:	13.21 mm
Constante de construcción del conductor:	0.758
Longitud del alimentador:	50 m
Resistividad:	0.329

Para el cálculo de la pérdida de tensión debemos calcular primero los siguientes puntos, La reactancia inductiva de los conductores y la resistencia interna de los conductores.

Cálculo de la reactancia inductiva de los conductores, Según la disposición de los conductores indicamos la disposición de los mismos en el siguiente grafico:

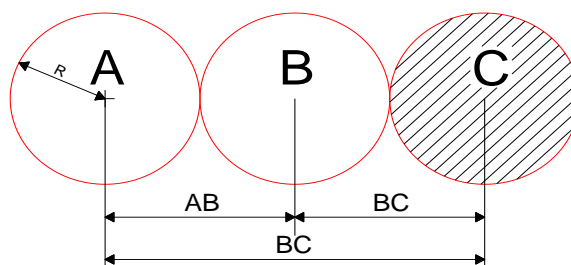


Figura 4.3. Disposición de los conductores eléctricos.

Para el cálculo de la reactancia inductiva realizamos mediante la siguiente ecuación:

$$X_t = 0,1734 \log \frac{DMG}{RMG} * l$$

Donde calculamos los siguientes datos faltantes que son la distancia media geométrica D M G y el radio medio geométrico R M G .

Cálculo de la distancia media geométrica R M G , aplicamos la siguiente ecuación:

$$RMG = k \times R$$

$$RMG = 0,758 \times \frac{13,21mm}{2}$$

$$RMG = 5,01mm$$

Cálculo de la distancia media geométrica D M G , se aplica la ecuación:

$$DMG = \sqrt[3]{AB \times BC \times AC}$$

$$DMG = \sqrt[3]{13,21mm \times 13,21mm \times 26,42mm}$$

$$DMG = 16,64mm$$

Los valores de la distancia y radio medio geométrico de las ecuaciones (18) y (20), reemplazamos en la ecuación de la reactancia inductiva de los conductores (24), quedando de la siguiente manera:

$$X_t = 0,1734 \times \log \frac{DMG}{RMG} \times l$$

$$X_t = 0,1734 \frac{\Omega}{km} \times \log \frac{16,64mm}{5,01mm} \times 0,05km$$

$$X_t = 0,0045\Omega$$

Cálculo de la resistencia interna de los conductores, aplicamos la siguiente ecuación:

$$R_t = k \times l$$

$$R_t = 0.329 \frac{\Omega}{\text{km}} \times 0.05 \text{ km}$$

$$R_t = 0.0165 \Omega$$

Cálculo de la corriente efectiva en el tablero TA 28, aplicamos la siguiente ecuación:

$$I_{\text{efectiva}} = \frac{P_n \times f_d \times 1.25}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta}$$

$$I_{\text{efectiva}} = \frac{188.96 \text{ kW} \times 0.61 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 440 \text{ V} \times 0.87 \times 0.90}$$

$$I_{\text{efectiva}} = 241.46 \text{ A}$$

Una vez realizado los respectivos cálculos para determinar la pérdida de tensión en los conductores reemplazamos en la ecuación

$$V = [(V_2 \times \cos \phi_2 + \sqrt{3} \times R_t \times I)^2 + (V_2 \times \sin \phi_2 + \sqrt{3} \times X_t \times I)^2]^{1/2} - V_2$$

$$V = [(440 \times \cos(\arccos 0.8) + \sqrt{3} \times 0.0165 \times 241.46)^2 + (440 \times \sin(\arccos 0.8) + \sqrt{3} \times 0.0045 \times 241.46)^2]^{1/2} - 440$$

$$V = 6,9214 \text{ V}$$

Utilizamos la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de pérdida de tensión:

$$\%V = \frac{V}{V_n} \times 100$$

$$\%V = \frac{6,9214}{440} \times 100$$

$$\%V = 1.5730$$

Una vez determinados los cálculos pertenecientes a los conductores eléctricos indicamos que el cable esta seleccionado correctamente el cual es el cable 1/0, tipo THHN, se utilizará dos cables por fase.

Cálculo de la protección del interruptor term o magnético para el tablero TA 28.

La ecuación para el cálculo del interruptor term o magnético, es la siguiente:

$$I_{IT} = I_{EFFECTIVA}$$

$$I_{IT} = 241.46 A$$

El interruptor term o magnético ideal para la buena protección del equipo será de 250 A a 315 A, existente en el mercado para su adquisición.

Cálculo de la corriente de carga en los alimentadores para el tablero de alimentación

TA 29. Aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo de la corriente del alimentador, para el tablero en estudio es:

$$I_{AL} = f_d \times \frac{(\sum P_j + 1.25 \times P_{mm})}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta}$$

Para el cálculo de la corriente de carga en los alimentadores consideraremos lo siguiente:

Datos técnicos de carga del tablero de alimentación TA 29:

Potencia o carga del grupo:	87.07 kW
Potencia o carga máxima del grupo:	74.57 kW
Rendimiento:	0.90
Factor de potencia:	0.79

Factor de demanda: 61%

Longitud del alimentador: 90 m

$$I_{AL} = 0.61 \times \frac{(87.07 + 1.25 \times 74.57) \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 440 \text{ V} \times 0.79 \times 0.90}$$

$$I_{AL} = 203.94 \text{ A}$$

Cálculo de la sección o calibre de los alimentadores, utilizamos la ecuación:

$$s = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times l \times I_{AL}}{\frac{V_1 \times V}{\sqrt{3} \times \left(\frac{1}{56} \frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \times 90 \text{ m} \times 203.94 \text{ A}}}$$
$$s = \frac{440 \text{ V} \times 0.02}{440 \text{ V} \times 0.02}$$

$$s = 64.51 \text{ mm}^2$$

Del ANEXO 2 de los conductores eléctricos, seleccionamos el cable, el más adecuado según la ubicación del tablero y por la sección calculada es un cable eléctrico de 2/0 tipo TTU, cuya sección transversal corresponde a 67.44 mm^2 , este cable eléctrico tiene una capacidad de 145 A.

Cálculo de la pérdida de tensión.

Tenemos la ecuación con la cual podemos calcular la pérdida de tensión de acuerdo al conductor eléctrico calculado anteriormente y es la siguiente:

$$V = [(V_2 \times \cos \varphi_2 + \sqrt{3} \times R_t \times I)^2 + (V_2 \times \sin \varphi_2 + \sqrt{3} \times X_t \times I)^2]^{1/2} - V_2$$

Datos técnicos de conductor eléctrico calculado:

Sección:	67.44 m ²
Capacidad de conducción:	145 A
Calibre:	2/0, tipo THHN
Diámetro exterior:	14.33 mm
Constante de construcción del conductor:	0.758
Longitud del alimentador:	90 m
Resistividad:	0.261

Para el cálculo de la pérdida de tensión debemos calcular primero los siguientes puntos, La reactancia inductiva de los conductores y la resistencia interna de los conductores.

Cálculo de la reactancia inductiva de los conductores.

Para el cálculo de la reactancia inductiva realizamos mediante la siguiente ecuación:

$$X_l = 0.1734 \log \frac{DMG}{RMG} * l$$

Donde calculamos los siguientes datos faltantes que son la distancia media geométrica DMG y el radio medio geométrico RMG.

Calculo de la distancia media geométrica DMG, aplicamos la siguiente ecuación:

$$RMG = k \times R$$

$$RMG = 0.758 \times \frac{14.33 \text{ mm}}{2}$$

$$RMG = 5.43 \text{ mm}$$

Cálculo de la distancia media geométrica DMG, aplicamos la ecuación:

$$DMG = \sqrt[3]{AB \times BC \times AC}$$

$$DMG = \sqrt[3]{14.33\text{mm} \times 14.33\text{mm} \times 28.66\text{mm}}$$

$$DMG = 18.05\text{mm}$$

Los valores de la distancia y radio medio geométrico de las ecuaciones anteriores,

reemplazamos en la ecuación de la reactancia inductiva de los conductores, obtenemos:

$$X_t = 0.1734 \times \log \frac{DMG}{RMG} \times L$$

$$X_t = 0.1734 \frac{\Omega}{\text{km}} \times \log \frac{18.05\text{mm}}{5.43\text{mm}} \times 0.09\text{km}$$

$$X_t = 0.0081\Omega$$

Cálculo de la resistencia interna de los conductores, aplicamos la siguiente ecuación:

$$R_t = k \times l$$

$$R_t = 0.261 \frac{\Omega}{\text{km}} \times 0.09\text{km}$$

$$R_t = 0.0235\Omega$$

Cálculo de la corriente efectiva en el tablero TA29, aplicamos la siguiente ecuación:

$$I_{\text{efectiva}} = \frac{P_n \times f_d \times 1.25}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta}$$

$$I_{\text{efectiva}} = \frac{87.07\text{kW} \times 0.61 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 440\text{V} \times 0.79 \times 0.90}$$

$$I_{\text{efectiva}} = 122.53\text{A}$$

Una vez realizado los respectivos cálculos para determinar la pérdida de tensión en los conductores reemplazamos en la ecuación.

$$V = [(V_2 \times \cos \varphi_2 + \sqrt{3} \times R_t \times I)^2 + (V_2 \times \sin \varphi_2 + \sqrt{3} \times X_t \times I)^2]^{1/2} - V_2$$

$$V = [(440 \times \cos(\arccos 0.79) + \sqrt{3} \times 0.0235 \times 122.53)^2 + (440 \times \sin(\arccos 0.79) + \sqrt{3} \times 0.0081 \times 122.53)^2]^{1/2} - 440$$

$$V = 5.0007V$$

Utilizamos la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de pérdida de tensión:

$$\%V = \frac{V}{V_2} \times 100$$

$$\%V = \frac{5.0007V}{440} \times 100$$

$$\%V = 1.1365$$

Una vez determinados los cálculos pertenecientes a los conductores eléctricos indicamos que el cable está seleccionado correctamente el cual es el cable 2/0, tipo THHN, se utilizará un cable por fase.

Cálculo de la protección del interruptor termomagnético para el tablero TA 29,

La ecuación para el cálculo del interruptor termomagnético, es la siguiente:

$$I_{IT} = I_{EFFECTIVA}$$

$$I_{IT} = 122.53A$$

El interruptor termomagnético ideal para la buena protección del equipo será de 100A a 160A, existente en el mercado para su adquisición.

Cálculo de la corriente de carga en los alimentadores para el tablero de protección general TPG 03. Para la evaluación del tablero de protección general se toma en consideración todas las cargas conectadas a este tablero, como se indica a continuación:

A C T I V O S	P _n kW
M ezcladora -3	304,62
C olector -1	89,48
M o lino -5	132,00
Prensa -16	62,99
Prensa -17	62,99
Prensa -18	62,99
Prensa -19	27,44
C alandra -1	31,32
M o lino -6	92,50
M o lino -7	74,57
M o lino -8	12,50
I n y e c t o r a -7	22,86
C o m p r e s o r -3	74,57
M o lino -9	78,30
C e n t r o d e m e c a n i z a d o -1	12,80
M o lino -10	93,59

Aplicamos la ecuación para el cálculo de la corriente del alimentador, para el tablero de protección general:

$$I_{AL} = f_d \times \frac{(\sum P_j + 1.25 \times P_{mm})}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi \times \eta}$$

Para el cálculo de la corriente de carga en los alimentadores consideraremos lo siguiente:

Datos técnicos de carga del tablero de alimentación TPG 03:

Potencia o carga del grupo:	1235,51 kW
Potencia o carga máxima del grupo:	304,62 kW
Rendimiento:	0.90

Factor de potencia:	0.89
Factor de demanda:	61%
Longitud del alimentador:	90m

$$I_{AL} = 0.61 \times \frac{(1235.51 + 1.25 \times 304.62)kW}{\sqrt{3} \times 440V \times 0.89 \times 0.90}$$

$$I_{AL} = 1622,93A$$

Cálculo de la sección de las barras de cobre.

Para la elección de las barras colectoras se debe tomar en cuenta la temperatura a la que están expuestas las barras colectoras, en el ANEXO 8 se observa el tipo de cargabilidad de corriente según la sección de las barras, revisar para un buen empleo. La capacidad de corriente que las barras colectoras de cobre van a soportar es de 1622,93A, para lo cual determinaremos la sección más adecuada. Donde obtenemos los siguientes datos:

Sección:	500 mm ²
Dimensión: ancho x espesor	100 x 5
Número de barras:	2
Capacidad:	1730A

Cálculo de la corriente efectiva para el tablero de protección general TPG 03.

Para el respectivo cálculo del interruptor, del tablero de protección general, aplicamos la siguiente ecuación:

$$I_{efectiva} = \frac{P_n \times f_d \times 1.25}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta}$$

$$I_{efectiva} = \frac{1235.51kW \times 0.61 \times 1.25}{\sqrt{3} \times 440V \times 0.89 \times 0.90}$$

$$I_{efectiva} = 1543.26A$$

El interruptor de caja abierta con una capacidad de 1500 a 2000A.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

Una vez definida las funciones de cada uno de los elementos de protección eléctricos se determina sus beneficios de protección a las cargas conectadas al sistema eléctrico de baja tensión y a las personas que están en contacto directo con la manipulación de los elementos eléctricos.

Con la realización y actualización de los diagramas eléctricos unifilares del sistema eléctrico de baja tensión que se cumplió en las dos plantas industriales de la empresa, se analizó y determinó como se encuentran distribuidas las cargas eléctricas para cada uno de los transformadores, de acuerdo a las secciones.

Las instalaciones eléctricas de baja tensión en las dos plantas industriales de la empresa se encuentran, según el estudio realizado de la siguiente manera:

En la planta industrial I “Catiglata” el transformador de 1000kVA a 220V, perteneciente al área de suelas, según el estudio se determinó que su carga esta sobre la nominal con un aproximado de 459.23 kVA, eso quiere decir que en cualquier momento cuando todas las cargas trabajen en el mismo tiempo determinado pueden producirse una sobrecarga, llevando al transformador a reducir su vida útil de uso y dañando las instalaciones eléctricas y a las máquinas, produciendo a su vez peligros de choques eléctricos al sistema.

En los transformadores de 200kVA a 220V, de 1000kVA a 440V y de 1000kVA a 220V, las cargas conectadas están en un nivel promedio de utilización de los equipos, las cargas disponibles a la capacidad nominal de los transformadores son de 26.14% , 6.02% y 2.96% respectivamente, indicando además que la capacidad máxima a utilizarse en los transformadores es de 72.29kVA, 39.83kVA y 2.96kVA respectivamente.

En la planta industrial II “Parque Industrial” el transformadores de 750kVA a 220V y 500kVA a 440V, está sobredimensionado a la capacidad nominal con valores aproximados de 223.06kVA y 157.44kVA, eso quiere decir que en cualquier momento cuando todas las cargas trabajen en el mismo tiempo determinado pueden producirse una sobrecarga, llevando al transformador a reducir su vida útil de uso y dañando las instalaciones eléctricas y a las máquinas, produciendo a su vez peligros de choques eléctricos a las personas.

En los transformadores de 75kVA a 220V, 500kVA a 220V, 75kVA a 220V, 1000kVA a 440V y 250kVA a 440V, las cargas conectadas están en un nivel promedio de utilización de los equipos, las cargas disponibles a la capacidad nominal de los transformadores son de 13.42% , 30.58% , 8.83% , 54.50% y 12.48% respectivamente, indicando además que la capacidad máxima a utilizarse en los transformadores es de 17.57kVA, 202.91kVA, 14.12kVA, 645.02kVA y 56.19kVA respectivamente.

Los elementos de protección como los interruptores, conductores eléctricos, fueron calculados según las ecuaciones determinadas anteriormente y se determinó que según las cargas conectadas se deben realizar cambios para las corrientes actuales que puedan soportar corrientes de cortocircuito y sobrecarga, determinar además la longitud, la resistencia del cable o conductor y uno de los factores más importantes la caída de tensión.

5.2. RECOMENDACIONES

Es importante indicar los centros de cargas críticos y acumulados para cuando se conecten, estos, al mismo tiempo no se produzca ningún choque eléctrico de perjuicio tanto para producción, maquinas y las personas que se relacionan al sistema.

Es importante revisar el comportamiento de las cargas en cada uno de los transformadores para poder tener el factor de potencia adecuado en la empresa que actualmente se encuentra en un 0.95 a 0.97 que es uno de los recomendados por la empresa eléctrica.

El factor de demanda debe estar relacionado con la potencia instalada y la demanda eléctrica en un lapso de tiempo es recomendable encender los equipos paulatinamente y de esa manera menorar el incremento de este valor, con este control, ayudamos al transformador a mantenerse con un alivio de carga y perdurar su vida útil.

Es importante también seguir actualizando el archivo que se presento en la empresa para visualizar el incremento de carga eléctrica en los transformadores.

Con un buen criterio de selección es importante cambiar ciertos elementos de protecciones eléctricas como son los interruptores termomagnéticos, conductores eléctricos, para que según las cargas previstas cuidar el sistema y no sobredimensionar ni subdimensionar.